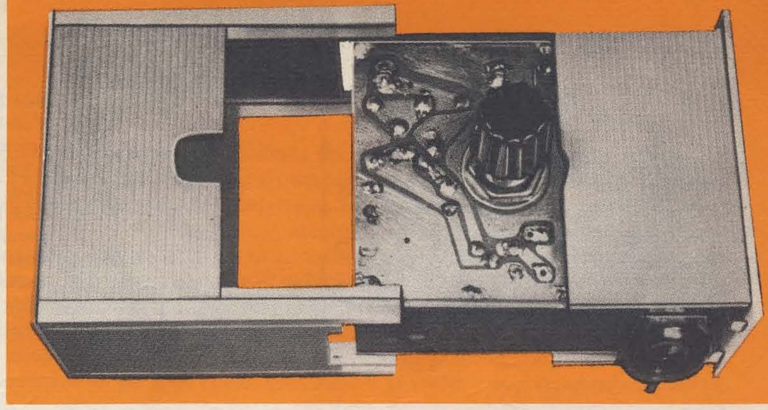
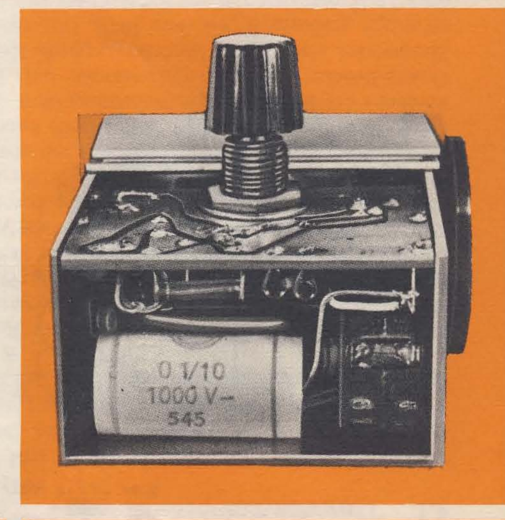




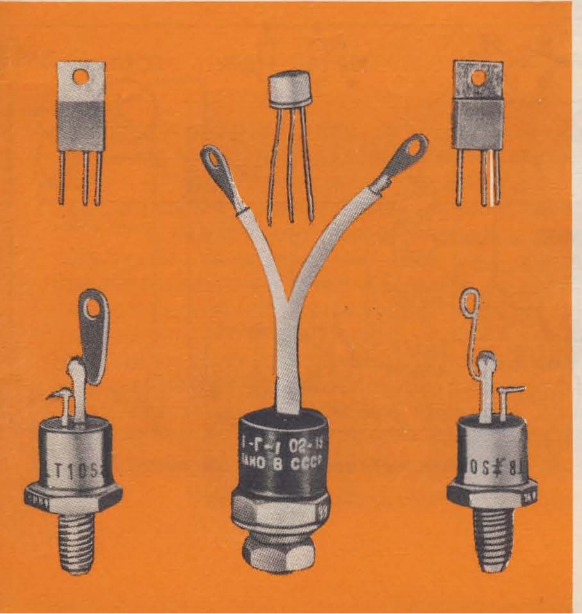
Bauplan Nr. 31

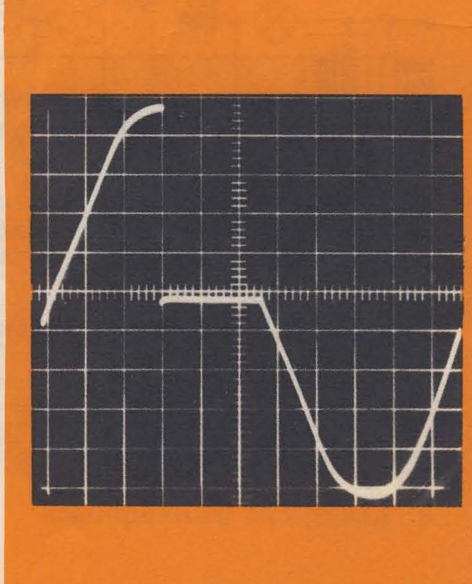
Preis 1,– Mark



Klaus Schlenzig

Thyristor-Lampensteller





Originalbauplan Nr. 31

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Für diesen Bauplan ist ein Bauelement benutzt worden, das zwar seit Jahren bekannt ist und auch im Handel angeboten wird, bei dem jedoch zum Manuskriptzeitpunkt die allgemeine Verfügbarkeit aller interessierenden »Standardtypen« noch nicht sichergestellt war. Folgende Tatsachen regten dazu an, es dennoch zu verwenden:

- Aus dem VEB Halbleiterwerk Stahnsdorf werden Bastel- und auch Markentypen des ST 111/121 in den Einzelhandelsgeschäften angeboten.
- An mindestens 2 Orten waren bei Manuskripterarbeitung für den Amateur untypisierte Exemplare eines Plastthyristors, ähnlich dem ST 103, aus dem VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin preiswert erhältlich. (Der ST 103 selbst dürfte in den nächsten Jahren in zunehmendem Maß verfügbar sein.)
- Es existiert ein vielseitiges Angebot sowohl an größeren (allerdings auch entsprechend teureren) als auch an kleineren Thyristoren aus der SU und aus der ČSSR, z. B. vom Konsum Elektronik-Versand Wermsdorf.
- In der Reihe »electronica« ist bereits 1971 ein Titel erschienen, in dem der Amateur über die Grundlagen des Thyristors informiert wird. Ein zweiter zu den Anwendungen ist zum Manuskriptzeitpunkt in Vorbereitung (erscheint März 1976), und auch in der Amateurpresse gibt es bereits eine Reihe von Veröffentlichungen zu diesem Thema. Daher konnten die mehr theoretischen Informationen »bauplangemäß« kurz gehalten werden.

Neben der Verfügbarkeitsfrage bestand bisher noch ein weiterer Hinderungsgrund für das Bauplanthema »Thyristoranwendungen«. Die derzeit interessantesten Einsatzfälle beziehen sich auf Netzbetrieb. Die damit verbundenen Probleme sind bekannt. Bei Beachtung einiger grundsätzlicher Sicherheitsregeln (z. B. Arbeiten nur bei entfernten Netzsicherungen) kann aber jeder mit den Grundlagen des Umgangs mit Netzstromkreisen Vertraute einen sachgemäß aufgebauten und nach außen isolierten Thyristor-Lampensteller z. B. genauso einbauen wie einen Lichtschalter. Achtung! Auch ein nichtgezündeter Thyristor führt Netzspannung! Schließlich aber können viele Schaltungen auch hinter Schutztransformatoren an ungefährlichen Kleinspannungen – meist nur geringfügig modifiziert – bei entsprechend kleinerer »stellbarer« Leistung eingesetzt werden. Das erweitert den Kreis derer erheblich, für die die im folgenden vorgestellten Beispiele nachbaugerecht sind.
Damit kann man bezüglich der Sicherheitsvorkehrungen folgende Richtlinien geben:

- Umgang mit Netzstromkreisen nur unter Beachtung (also bei Kenntnis) der Sicherheitsbestimmungen.
- Aufbau der Netzanschlußobjekte so, daß eine Berührung spannungführender Teile im Betrieb ausgeschlossen ist und auch im Fehlerfall (z. B. Draht fällt ab oder eine denkbare mechanische Einwirkung beschädigt die Umhüllung) nicht auftreten kann. Gegebenenfalls Abnahme durch einen Fachmann. Zusätzlicher wichtiger Hinweis: Auch bei gesperrtem Thyristor liegt an der Gesamtschaltung Spannung! Daher vor Eingriffen stets 2polige Trennung vom Netz vornehmen!
- Für alle übrigen Leser: Einsatz nur hinter Schutztransformatoren im Kleinspannungsbereich bis maximal 42 V, z. B. in Verbindung mit Kfz-Lampen. Die Vorteile der nahezu verlustleistungsfreien Steuerung bleiben bei solchen Anwendungen voll erhalten, und Sicherheitsprobleme beschränken sich auf den Transformator. Innerhalb eines Typs sind Thyristoren für kleinere Spannungen außerdem auch billiger als für Netzspannung geeignete. Zu beachten sind bei Netzanschluß vor allem: TGL 200-0602, Bl. 2 und 3, jeweils Abschnitt 2. und 3., und TGL 200-0611, Bl. 2.

Im folgenden werden einige praktisch erprobte Schaltungen bis zum einsatzfertigen Objekt vorgestellt, die sich nach diesen Gesichtspunkten auswählen lassen, so daß jeder Leser wohl wenigstens eine für seine Voraussetzungen geeignete Anwendung finden wird.

2. Einige allgemeine Informationen

Das Betriebsverhalten eines Thyristors unterscheidet sich z. B. wesentlich von dem eines Transistors. Ein einfacher Vergleich zur Arbeitsweise sei gestattet: Mit einem Streichholz läßt sich zwar eine Petroleumlampe anzünden, doch sie verlischt durchaus nicht, wenn man das Streichholz ausbläst. Erst z. B. durch Unterbrechen der Brennstoffzufuhr kann die Flamme gelöscht werden. Ähnlich verhält es sich beim Thyristor: Zunächst ist die »Hauptstrecke« (Anode – Katode) gesperrt, und zwar in beiden Richtungen. Erhält die Steuerstrecke (Gate – Katode) jedoch einen Steuerimpuls bestimmter Eigenschaften (positive Stromrichtung, Mindestdauer, Mindestenergie), so wird sie durchlässig, und zwar von Anode nach Katode in positiver Stromrichtung. Abtrennen der Steuerquelle allein »löscht« den Thyristor noch nicht. Erst Unterbrechung des Hauptstromkreises (oder mindestens Absinken des Stromes unter einen typenabhängigen »Haltestrom«) ergibt wieder Rückkehr zum gesperrten Zustand.
Der zugehörige Ladungsträgermechanismus läßt sich in der genannten Literatur nachlesen. Bild 1 zeigt lediglich den Aufbau der bei uns erhältlichen Thyristoren sowie eine Nachbildung des Wirkprinzips mit 2 komplementären Transistoren. Die charakteristischen Kennlinien sind in Bild 2 (nicht maßstabgerecht) zusammengefaßt. Dazu einige Erläuterungen: Ein Thyristor sperrt im allgemeinen in beiden Richtungen bis etwa zur gleichen Höchstspannung. In der auch nach dem Zünden bei bestimmter U_{AK} sperrenden Richtung spricht man von Sperrspannung, vergleichbar mit der einer normalen pn-Diode. In »Schalter-Richtung« (Arbeitsrichtung), in der der Thyristor beim Zünden also durchlässig wird (bis auf eine Restspannung von etwa 1 bis 2 V je nach Typ und Strom), bezeichnet man die Sperrspannung dagegen als »Blockierspannung«. Zu beachten ist, daß sehr steile Spannungs-

anstiege (z. B. >20 V/µs) eine sogenannte Über-Kopf-Zündung hervorrufen können, ohne daß ein äußerer Steuerstrom fließt. Diese Betriebsart kann zum Ausfall des Thyristors führen. Eine Kondensator-Widerstandsbeschaltung (die auch noch anderen Zwecken dient, nämlich Schutz gegen Überspannung bei induktiven Lasten) vermag dagegen zu schützen. Auf jeden Fall sind Thyristoren gegen Überspannungsimpulse sehr empfindlich, so daß man gern Typen mit möglichst hoher Sperr- und Blockierspannung wählt.
Auch eine bestimmte höchste Stromanstiegsgeschwindigkeit beim Einschalten darf nicht überschritten werden. Das läßt sich meist mit einer Drossel berücksichtigen, die ohnehin bei Phasenanschnittsteuerungen wegen der von der Schaltung erzeugten Störimpulse nötig ist, die von der Netzzuleitung ferngehalten werden müssen (andernfalls ergeben sich Rundfunkstörungen). Steuerseitig darf der Thyristor ebenfalls nicht überfordert werden. Das bezieht sich auf die Steuerleistung, die durch den Steuerstrom und seine prozentuale Dauer je Periode (bei Wechselspannung bzw. pulsierender Gleichspannung) bestimmt wird. Der Steuereingang G – K ist als Diode zu betrachten, die in Durchlaßrichtung betrieben wird (Durchlaß in Richtung Katode). Jeder Thyristortyp benötigt einen bestimmten (temperaturabhängigen) Mindeststeuerstrom zum Zünden bei einer bestimmten Mindestspannung. Bild 3 zeigt den Streubereich für einen Typ (Durchlaß also Steuerrichtung).
Noch ein Wort zu den Betriebsfrequenzen: In diesem Bauplan erfolgt Beschränkung auf Netzfrequenz, also 50 Hz (bzw. – mit Graetz-Brücke betrieben – 100-Hz-Impulse). Für höhere Frequenzen muß ein Thyristortyp besonders geeignet sein (z. B. »selbstgeführte« Wechselrichter u. ä), denn nach dem Abschalten vergeht eine endliche »Freiwerdezeit«, nach der erst wieder die volle Blockierspannung angelegt werden darf.
Jeder Thyristortyp verträgt neben dem zugelassenen Dauerstrom (bei bestimmter Temperatur) noch einen periodischen Spitzenstrom und einen Impulsgrenzstrom. Die Datenblätter geben darüber Auskunft. Im Betrieb tritt bei Ausnutzung der Grenzdaten eine erhebliche Erwärmung auf, die von einem bestimmten Wert der Verlustleistung an zusätzliche Kühlmaßnahmen verlangt. Dafür gibt es Kühlkörper (z. B. für den ST 111 bzw. ST 121), während z. B. der ST 103 mit seiner Kühlfahne auf einem kleinen Kühlblech befestigt werden kann. ČSSR-Kleinthyristoren in rundem Transistorgehäuse können mit handelsüblichen Kühlsternen gekühlt werden. Verschiedene Thyristorbauformen erkennt man aus Bild 4a, Kühlkörper zeigt Bild 4b.

3. Zündfragen

Ein Thyristor zündet (sofern eine richtig gepolte Betriebsspannung in Serie mit einem Verbraucher anliegt, der auch den Haltestrom für den weiteren Stromfluß gewährleistet), wenn der Steuerelektrode für eine bestimmte Mindestzeit ein ausreichend großer Steuerstrom bei entsprechender Spannung zugeführt wird (s. Bild 3). Die Mindestzeit ergibt sich aus der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ladungsträger im Kristall, bevor die »Übernahme« der Wirkung des Steuerstroms durch den Hauptstromkreis gewährleistet ist. Infolge der Exemplarstreuungen und der temperatur- sowie spannungsbedingten Einflüsse unterliegt der Zündzeitpunkt bei einem durch Widerstand eingestellten Steuerstrom Schwankungen. Daher bevorzugt man die Impulszündung. Die Unterschiede zeigt Bild 5: Nach Bild 5b wird ein Kondensator über einen Vorwiderstand auf die Zündspannung eines speziellen Bauelements aufgeladen (Glimmlampe oder Vierschichtdiode). Sobald sie erreicht ist, erfolgt sicheres Zünden des Thyristors, sofern der Kondensator richtig dimensioniert worden ist. Man beachte, daß der erforderliche Zündstrom so lange fließen muß, bis der Haltestrom des Thyristors im Hauptstromkreis erreicht bzw. überschritten wird. Das ist aber z. B. bei induktiven Lasten (Motoren!) später der Fall als bei ohmschen Verbrauchern (Lampen, Heizkörper).

3.1. Zündbauelemente

Einfachstes Zündbauelement ist die Glimmlampe. Ihr Nachteil: Man benötigt eine relativ hohe Spannung (Größenordnung 80 V). Das ist, wie sich noch zeigen wird, mit einer schlechten Ausnutzung der Netzwechselspannung verbunden. Wegen des erforderlichen Mindeststroms (typenabhängig wenigstens einige zehn Milliampere) kommen auch nur spezielle Ausführungen in Frage.
Bei etwa 25 bis 30 V zünden Vierschichtdioden, sogenannte Diacs. Sie stehen jedoch z. Z. nur begrenzt aus Importen zur Verfügung. Ein höherer Schaltungsaufwand führt zum gleichen Ergebnis, hat aber den Vorteil, daß die Bauelemente leicht verfügbar und relativ billig sind (Bild 6a). Mit einer solchen Schaltung wurden bei der Lösung mehrerer Aufgaben gute Erfahrungen gemacht. Bild 6b zeigt den Einsatz einer Glimmlampe als Zündbauelement.

3.2. Thyristorzündung mit Wechselspannung

Der Wechselspannungsbetrieb bietet automatisch die Lösung der für den Thyristor so wichtigen Abschaltfrage. Nach jeder Halbwelle »kommutiert« die Spannung, wechselt also ihre Polarität. Schon kurz zuvor sperrt der in der positiven Halbwelle gezündete Thyristor, nämlich dann, wenn sein Haltestrom infolge der abgesunkenen Spannung unterschritten wird (konstanten Verbraucherwiderstand vorausgesetzt). In der negativen Halbwelle bleibt er gesperrt. (In dieser Phase darf kein Zündimpuls anliegen.) Der Verbraucher erhält also gemäß Bild 7 maximal Halbwellen (exakt etwas weniger, da erst die Zündspannung erreicht werden muß und weil bereits unterhalb des Haltestroms wieder abgeschaltet wird). Beide Halbwellen mit einem Bauelement auszunutzen gestattet der Triac, der bei Redaktionsschluß aber nur aus Importen zur Verfügung stand (z. B. aus der Sowjetunion).
Der Zündzeitpunkt des Thyristors innerhalb der positiven Halbwelle wird mit dem bereits angedeuteten Potentiometer in den Schaltungen nach Bild 6 eingestellt. Dabei sind um so kleinere R-Grundwerte erforderlich, je größer C ist. Diese Impulszündung hat gegenüber einer einfachen Stromeinspeisung mit Widerstand allein übrigens noch einen wesentlichen Vorzug: Der Zündzeitpunkt kann bis nahezu an das Ende der Durchlaßphase gelegt werden, während eine R-begrenzte Stromsteuerung zwangsläufig nur bis 90° ($U_{Scheitel}$) funktioniert, wovon man sich durch einfache Überlegung überzeugen kann.
Abschließend sei noch auf die Oszillogramme in Abschnitt 4.2. verwiesen, die an der Schaltung nach Bild 16 aufgenommen wurden.

3.3. Störprobleme

Die in Bild 7 dargestellte »Phasenanschnittsteuerung« ergibt starke Rundfunkstörungen, wenn die Schaltung in der einfachen Form nach Bild 7a an das Netz angeschlossen wird. Eine Ergänzung nach Bild 7e verhindert das. Achtung! Sollte die Schaltung nicht bereits – von der Gesamtschaltung her bedingt – einen Entladewiderstand für C enthalten, so muß ein solcher vorgesehen werden, damit U_C schon kurz nach Herausziehen des Netzsteckers einen ungefährlichen Wert angenommen hat, denn der Stecker ist ja danach berührbar! Als Kriterium für die Wirksamkeit einer solchen Entstörung mag gelten, daß ein möglichst nahe dem Thyristorgerät ans gleiche Netz angeschlossener Rundfunkempfänger mit Innenantenne auf Mittel- und Langwelle keine störenden Schnarrgeräusche mehr wiedergibt. Die vorgestellten Schaltungen enthalten solche Entstörmaßnahmen, die in den entsprechenden Abschnitten behandelt werden.

4. Praktische Anwendungen

Die im folgenden vorgestellten Beispiele sind für Netzbetrieb dimensioniert worden. Jeder, der im Umgang mit Netzstromkreisen vertraut ist, kann sie einsetzen, wenn beim Nachbau für den zuverlässigen Schutz gegen Berühren spannungführender Teile Sorge getragen wird. Alle anderen Leser müssen, wie schon erwähnt, mit Kleinspannungen hinter Schutztransformatoren arbeiten, also entsprechende Verbraucher kleinerer Betriebsspannung einsetzen. Auch dafür gibt es ein reichhaltiges Sortiment, angefangen von der 6-V-Kfz-Lampe bis hin zur 22-V-Effekt-Beleuchtung. Wesentlich ist, daß die Grenzdaten des verwendeten Thyristors nicht überschritten werden. Das betrifft bei Kleinspannungen vor allem den Strom, während bezüglich der Spannung Typen eingesetzt werden können, die Netzspannung nicht aushalten würden, die also meist billiger sind. Beim Strom bedenke man stets, daß der Kaltstrom einer Glühlampe zwischen 5- und 10mal so groß ist wie der Wert U_{nenn}/I_{nenn}. Daher sind solche Ansteuerschaltungen günstig, bei denen der Thyristor zunächst nur am Ende der Halbwelle gezündet wird, so daß der Stromimpuls z. B. wegen $U_{nenn}/10$ auch nur $I_{kalt}/10$ ($I_{kalt} = U/R_{kalt}$) werden kann. Das ist zwangsläufig bei allen Schaltungen sichergestellt, die über ein mit dem Einschalter gekoppeltes Potentiometer verfügen (Widerstände so beschalten, daß R_{max} in Aus-Stellung!), bzw. die ein »Anlauf-Verhalten« beim Einschalten haben.

4.1. Thyristor-Lampensteller

Mit der Schaltung nach Bild 8 kann man jede im Haushalt eingesetzte Glühlampe vom schwachen Glimmen bis zur vollen Helligkeit einstellen, ohne daß eine im Vergleich zur Nutzleistung wesentliche Verlustleistung entsteht. (Die Verlustleistung ist bedingt durch die – geringe – Thyristorrestspannung, durch die Steuerleistung und durch die in den Widerständen des Steuerkreises in Wärme umgesetzte Leistung.)
Die in den ursprünglichen Lampenkreis nach Bild 8a statt des Schalters einzufügende Schaltung setzt sich nach Bild 9 aus folgenden Funktionsgruppen zusammen: Entstör-Schaltung, Graetz-Brücke (damit der nur in einer Richtung zündende Thyristor beide Halbwellen der Netzwechselspannung ausnutzen kann; ein Triac käme ohne diese Brücke aus. Der Verbraucher erhält bei dieser Schaltung also mit 100 Hz pulsierende Gleichspannung!); Thyristor; Zündschaltung mit einstellbarem Zündwinkel. Für die Zündschaltung wird die bereits in Bild 6a kurz vorgestellte pnp/npn-Transistorkombination verwendet. Als Entstördrossel für diese und alle anderen Schaltungen wurde ein Schalenkern 22 × 13, A_L zwischen 160 und 400, mit etwa 100 Wdg., 0,4-mm-CuL benutzt.
Einige Schaltungseinzelheiten sollen noch kurz erläutert werden, da sie für das einwandfreie Funktionieren der Schaltung von Bedeutung sind. Zunächst fällt der Widerstand zwischen Pluspol der Graetz-Brücke und der Thyristoranode auf. Er unterdrückt Instabilitäten, die sonst bei kleinem Zündwinkel, also frühem Zündeinsatz (große Helligkeit) auftreten können. Kleinere Lampenleistungen erfordern größeres R (bis etwa 10 Ω). Günstiger bezüglich Wärmeentwicklung ist eine Drossel von etwa 1 mH, realisiert z. B. mit Schalenkern 18 × 11, A_L 40, w ≈ 150, Draht 0,3-mm-CuL. Ein etwa 15 mm langes Ferritstabstückchen eignet sich zwar auch, ergibt aber ein magnetisches Störfeld. Der Parallelwiderstand zum Potentiometer engt seinen Bereich ein; günstiger – wenn erhältlich – ist also ein 5-kΩ-Potentiometer mit Schalter, das eventuell ohne Shunt betrieben werden kann. Der Serienwiderstand (im Bild 0,82 kΩ für 100-W-Lampe) dient dem Abgleich auf größtmögliche Helligkeit. Wird er zu klein gewählt, so werden die Zündbedingungen nicht mehr erfüllt. Die Lampe geht dann bei Drehung des Potentiometers zum rechten Anschlag aus, statt heller zu werden! Hinweis: Bei kleineren Lampenleistungen sind für diesen Widerstand größere Werte nötig!
Eine besondere Bedeutung hat auch der Widerstand parallel zum Zündkondensator. Ohne ihn kann folgender Effekt auftreten: Beim Einschalten flackert die Lampe unruhig; erst beim weiteren Aufdrehen des Potentiometers erhält man ein ruhiges, mit wachsendem Drehwinkel heller werdendes

Glimmen. Der Widerstand bewirkt also eine definierte Spannung am Zündkondensator, die dadurch vor allem von der Potentiometerstellung und nur wenig vom Maß der Entladung des Kondensators über die Zündschaltung abhängt. (Hinweis: Die verwendeten Thyristoren benötigten Zündströme von etwa 20 mA. Bei abweichenden Werten ist gegebenenfalls Variieren der das Zündverhalten bestimmenden Bauelemente erforderlich, damit wieder der größtmögliche Stellbereich erzielt wird!)
Typischer Einsatzfall eines solchen Lampenstellers (in der Literatur auch – aus dem Englischen entlehnt – als »Dimmerschalter« bezeichnet) ist der Einbau in eine Unterputzdose statt des normalen Lichtschalters. Mit einem Plastthyristor des WF-Typs ST 103/5 gelingt das ohne allzu große Mühe. Ein dafür geeignetes Leitungsmuster zeigt Bild 10, die Bestückung geht aus Bild 11 hervor (Bauelementeseite mit »durchschimmerndem« Leitungsmuster). Montiert wird in der Reihenfolge: Potentiometer – Lüsterklemmenleiste mit Schalenkern (über Senkkopfschraube M3 × 30 gemeinsam befestigt) – Entstörkondensatoren (wegen der begrenzten Bauhöhe 2 × 0,047 µF/1000 V parallelgeschaltet, stehend eingelötet) – übrige Bauelemente (ebenfalls stehend montiert). Für Lampen bis etwa 60 W muß der Thyristor nicht unbedingt gekühlt werden; darüber empfiehlt sich zum besseren Temperaturausgleich ein Kühlblech von etwa 30 mm × 30 mm, das etwas abgewinkelt wird und innen an der Dosenwand anliegt. Selbstverständlich muß die Unterputzdose aus isolierendem Plast bestehen!
Für die Graetz-Brücke bleibt bei dieser Ausführung auf der Bauelementeseite nur wenig Platz. Da das Leitungsmuster außerdem auch für die Variante nach Abschnitt 4.2. mit möglichst geringen Änderungen verwendbar sein sollte, hat sich die aus Bild 11 erkennbare Verteilung der Bauelemente ergeben.
Die 4 Gleichrichter der Graetz-Brücke sind daher leiterseitig angeordnet worden. Besonders günstig dafür sind die neuen Plasttypen der Reihe SY 320. Falls sie noch nicht greifbar sein sollten, muß mit SY 204 gearbeitet werden, die man dann bei Lampenleistungen bis zu 100 W mit wärmefestem Isolierschlauch überziehen sollte. Da dieser Schlauch (Silikongummi) nicht immer verfügbar sein wird, ist eine isolierende Zwischenplatte günstiger, z. B. aus Hartpapier. Im Muster erfolgte die Befestigung sowohl der Leiterplatte als auch der Deckplatte über die gleichen Schrauben an der Unterputzdose. Statt dessen kann aber auch zunächst die Leiterplatte nach Anklemmen der Zuleitungen (Netzsicherungen vorher entfernen!) angeschraubt werden, während man anschließend die Abdeckung getrennt montiert. Dazu muß allerdings eine weitere Befestigungsmöglichkeit geschaffen werden, etwa durch M3-Gewinde in randnahen Isolierpartien der Leiterplatte oder besser in Blechstückchen, die man z. B. nach Bild 12 befestigt. Auf jeden Fall müssen von außen berührbare Schrauben (bzw. andere eventuell vorhandene Metallteile) mindestens 4 mm Abstand von spannungführenden Teilen haben und dürfen auch im Fehlerfall nicht mit dem Netzstromkreis – zu dem auch die Zündschaltung zählt! – in Berührung kommen. Der Einbau und Einsatz aller beschriebenen Einheiten darf nur in trockenen Räumen erfolgen! Die Abdeckung wurde im Muster aus einer etwa 2,5 mm dicken Polystyrolplatte, wie sie in Form von Wandfliesen gehandelt wird, gesägt. Den Abstand zur Leiterplatte, der durch die Gleichrichter bestimmt wird, hält ein aus Polystyrolleisten bestehender Rahmen, zuverlässig mit Plastkleber mit der Abdeckplatte verbunden. Hinweise für diese Abdeckung unter Berücksichtigung der im Durchmesser ungünstigeren SY 204 gibt Bild 13.
Ansichten des fertigen Thyristor-Lampenstellers zeigt Bild 14. Als Drehknopf empfiehlt sich eine geriffelte, griffige Ausführung. Zwar muß beim Aufbau dafür gesorgt werden, daß das Potentiometergehäuse von der übrigen Schaltung isoliert bleibt, doch sollte dennoch (wegen der begrenzten Spannungsfestigkeit zwischen Gehäuse und Widerstandsbahn) nicht nur eine zuverlässige Montage des Drehknopfes erfolgen, sondern seine Klemmschraube muß so tief im Körper sitzen, daß eine Berührung ausgeschlossen ist. Zusätzliches Ausfüllen z. B. mit Suralin-Masse bietet weiteren Schutz.
Eine völlig gefahrlose Lösung (weil dann auch nicht versehentlich der Knopf entfernt werden kann und dadurch bei einem Fehlerfall bezüglich Potentiometerpotential bzw. nicht ausreichender Spannungsfestigkeit gegen Gehäuse an der Achse Spannung liegt) zeigt Bild 15, wenn nicht von vornherein ein Potentiometer mit Isolierachse zur Verfügung steht. Die entsprechend kürzere Achse (kürzen wird man ohnehin meist müssen) wird mit der Feile gemäß Bild 15 bearbeitet. Die Deckplatte erhält seitlich einen entsprechenden Ausschnitt. Diese Lösung ist also der des Musters vorzuziehen.

4.2. Thyristor-Lampensteller kleinen Aufwands

Die im folgenden beschriebene Schaltungslösung (Bild 16) wurde in 2 Varianten hergestellt: für Unterputzdosen im Sinne von 4.1. (s. Bild 17) und als selbständige Einheit zum Zwischenschalten zwischen 220-V-Netzsteckdose und z.B. Tisch- oder Stehleuchte (s. Bild 19 bis Bild 23).
Die Hinweise zur erhöhten Sicherheit bezüglich Potentiometerachse u.ä. am Ende des vorigen Abschnitts müssen beim Nachbau – abweichend von den vorgestellten Fotos – auch bei diesem Gerät beachtet werden.
Die an der Schaltung aufgenommenen Oszillogramme (Bild 18a bis Bild 18q) sollen das praktische Verhalten eines solchen »Halbwellen-Stellers« deutlich machen. (Beim Zweiwegsteller gemäß Abschnitt 4.1. fällt die Sperrichtung weg, und das Bild der 1. Halbwelle wiederholt sich in der 2. auch an der Lampe; dort allerdings in negativer Richtung.) Die Meßpunkte sind in Bild 16 eingetragen. Es besteht folgende Zuordnung:
1 – (Spannung an Netzanschluß, Zündung bei etwa 90°; man erkennt einen kleinen Störimpuls beim positiven Scheitelwert) s. Bild 18a.
2 – (Spannung über der Lampe) s. Bild 18b (kleine Helligkeit), Bild 18c (mittlere Helligkeit), Bild 18d (große Helligkeit); Bild 18e entspricht Bild 18b, statt mit etwa 2 ms/cm jedoch mit 10 ms/cm aufgelöst (1 cm = 2 »Karos«).
3 – (Spannung am Thyristor) s. Bild 18f (kleine), Bild 18g (mittlere), Bild 18h (große Helligkeit).
4 – (Spannung am Teiler) s. Bild 18i (kleine Helligkeit, etwa 12 V positiv, bei maximaler Helligkeit nur noch 4 V positiver Scheitelwert).
5 – (Kondensatorspannung) s. Bild 18k (kleine Helligkeit, etwa 3 V, Bild 18l (wie Bild 18k, aber 10 ms/cm statt etwa 2 ms/cm), Bild 18m (mittlere Helligkeit, etwa 6 V), Bild 18n (große Helligkeit, 1,5 V).
Zwischen Gate und Katode wurden mit 1 V/cm die Steuerimpulse nach Bild 18o (kleine Helligkeit), Bild 18p (mittlere Helligkeit) und Bild 18q (große Helligkeit) aufgenommen.
Die Schaltung nach Bild 16 zeigt, auf wie einfache Weise es gelingt, mit einem Thyristor – also ohne die 4 relativ teuren, für Netzspannung geeigneten Gleichrichter – einen Lampensteller großen Helligkeitsbereichs zu realisieren. Für die bereits aus 4.1. bekannte Zündeinheit benötigt man ebenfalls nur einen billigen Gleichrichter. Bis auf den oberen 0,5-W-Widerstand des Spannungsteilers, aus dem die Steuerspannung abgeleitet wird, genügen durchweg 1/8-W-Widerstände. Auch der Speicherkondensator, der zusammen mit dem Potentiometer den Zündwinkel bestimmt, braucht keine hohe Betriebsspannung. Die Besonderheit der Schaltung besteht in der Verwendung einer 110-V-Glühlampe. Der VEB Kombinat Narva hat solche Lampen im Produktionssortiment, und bei Bedarf kann sie der Handel von dort beziehen. Längere Tests mit 2 Exemplaren dieser Schaltung zusammen mit einer 60-W- und einer 100-W-Lampe haben die Funktionstüchtigkeit der Lösung bewiesen. Da ein Lampensteller nur Sinn hat, wenn man die Lampe im Bereich unterhalb der maximal möglichen Helligkeit betreibt, ist auch die Lampenlebensdauer entsprechend hoch. Selbstverständlich bedeutet Halbwellenbetrieb infolge der relativ langen Pausen zwischen den Stromimpulsen eine härtere Beanspruchung der gesamten Einrichtung, da der Glühfaden in den 10 ms langen Pausen jeweils etwas auskühlt, also beim nächsten Stromimpuls wieder einen geringeren Widerstand hat, als es beim Lampensteller nach 4.1. möglich ist. (Dort sind die Abkühlzeiten stets kleiner.) Die bereits gezeigten Oszillogramme (an dieser Schaltung gewonnen) haben jedoch keine Überschreitung der Thyristorgrenzdaten ergeben. Auch die Lampe selbst hat in dem normalerweise genutzten Bereich (oft erfolgt eine Helligkeitseinstellung unter 50 % des möglichen Maximalwerts) eine ausreichend hohe Lebensdauer. (In einer nahezu täglich genutzten Leuchte für »Dämmerlicht« am Morgen – für die Zeit kurz nach dem Aufstehen ein angenehmer Übergang! – und als »Fernsehlicht« am Abend mußte bisher erst eine Lampe gewechselt werden – allerdings infolge einer unsicheren Schweißstelle am Drahthalter, nachdem die Leuchte vom Tisch gefallen war...) Als einziger Nachteil des Halbwellenbetriebs tritt bei großer Helligkeit (also im selten genutzten Bereich) ein leichtes Flimmern auf, das aber nur bei direkter Betrachtung auffällt und bereits durch einen Lampenschirm hindurch kaum noch bemerkt wird.

Der Betrieb der Tischleuchte erfolgt über eine »Stellbox« mit Netzleitung und eingebauter Steckdose, für die Bild 19 Musteransichten zeigt. Im Muster wurde die Netzzuleitung nicht fest (bzw. über Lüsterklemmen) angeschlossen, sondern die Box erhielt eine Netzanschlußdose, wie sie u.a. in Kassettenrecordern (hier aus »Sonett«) und anderen tragbaren Geräten mit Netzanschlußmöglichkeit verwendet wird. Lampenseitig ist unbedingt zu verhindern, daß die 110-V-Lampe versehentlich ohne Thyristorsteller an das 220-V-Netz angeschlossen werden kann. Zu diesem Zweck wurde aus einem normalen 2poligen Netzstecker ein Spezialstecker gemäß Bild 19a angefertigt. Die Maßnahme besteht in einem 3. Stift, der in eine zusätzliche Bohrung der Boxsteckdose eingeführt wird. Er verhindert, daß der Stecker in übliche Netzsteckdosen gesteckt werden kann.
Für den Nachbau, der allerdings – unter Beachtung der bereits genannten Hinweise – wiederum nur dem im Umgang mit Netzstromkreisen Erfahrenen gestattet ist, geben Bild 20 bis Bild 23 entsprechende Anregungen. Ihre Realisierung hängt von den Möglichkeiten des Anwenders ab. Bild 20 zeigt das Leitungsmuster, Bild 21 den Bestückungsplan von der Leiterseite aus. Bild 22 und Bild 23 geben Informationen zu den übrigen Teilen aus kupferkaschiertem Hartpapier, aus denen zusammen mit der Leiterplatte der »Einschub« zusammenzulöten ist. An den Seitenwänden werden Störschutzdrossel (Schalenkern) und Thyristor (unter Ausnutzung der Kupferfläche zur Kühlung) montiert. Der Störschutzkondensator wird frei verdrahtet. Die Außenisolation übernehmen Gehäuseelemente des Systems »Amateurelektronik«. Eines der Frontelemente trägt den Einsatz einer üblichen Aufputzdose, die geringfügig mit der Feile bearbeitet worden ist (Außenkanten). Sie hat bereits das für den Spezialstecker benötigte Mittelloch. Die Netzanschlußdose ist in das kupferkaschierte Innengehäuse mit Epasol EP 11 eingeklebt worden. Gemäß Bild 19b klebt man die Gehäuseteile so zusammen, daß zwei genügend fest ineinandersitzende Hälften entstehen. Für die Potentiometerachse erhalten die beiden obenliegenden Wandelemente an den zusammenstoßenden Kanten halbkreisförmige Aussparungen. Statt des in den Bildern erkennbaren Drehknopfs (Hinweise bezüglich Berührbarkeit der Metallachse beachten, s. vorn!) können ebenfalls wieder Lösungen gewählt werden, wie sie sinngemäß unter 4.1. vorgestellt worden sind. Wie auch bei 4.1., ist die Drossel gegen störende Schnarrgeräusche z.B. mit Kerzenwachs zu tränken. Leider neigen auch Polyesterkondensatoren zu Schnarrgeräuschen.
Besonders bei Einbau nach Abschnitt 4.1. zeigte sich beim Berühren des Drehknopfes infolge kapazitiver Einkopplung zur Hand ein gewisser Antenneneffekt, d.h., für die Dauer der Einstellung hörte man u.U. in einem nahen Rundfunkempfänger auf Lang- oder Mittelwelle störendes Schnarren. Es nahm kleine Werte an, als das Potentiometergehäuse über einen spannungsfesten 22-nF-Kondensator an Schaltungs-Null (Thyristor-Katode) gelegt wurde. Bei dieser Maßnahme ist es besonders wichtig, daß die Potentiometerachse unbedingt unberührbar bleibt! Ein weiterer Störschutz gegen Antenneneffekte kann in einer ebenso angeschlossenen isolierten Zwischenplatte aus kupferkaschiertem Hartpapier bestehen.

4.3. Lichtgesteuerter Einschalter

In fensterlosen Räumen, in denen also dauernd Dunkelheit herrscht, kann die Raumbeleuchtung über einen Fotowiderstand in Verbindung mit der Schaltung nach 4.1. oder 4.2. eingeschaltet werden. Dabei wünscht man nur die Zustände »volle Helligkeit« oder »aus«. Ein Potentiometer kann also entfallen; an seine Stelle tritt der Fotowiderstand. Abgeglichen wird mit dem Vorwiderstand so (in Bild 8 also 820 Ω, in Bild 16 680 Ω – jeweils für 100-W-Lampe als Erfahrungswert), daß die Beleuchtung bei maximaler Helligkeit noch sicher funktioniert. Bild 24 zeigt diese Variante, möglich auch für die sparsame Lösung für 110-V-Lampe. Der Fotowiderstand kann in beiden Beispielen statt der Potentiometerachse hinter der entsprechend erweiterten und von innen mit durchsichtigem Plastmaterial berührungssicher abgedeckten Öffnung in der Deckplatte angebracht werden. Es ist dafür zu sorgen, daß das Lampenlicht voll auf den Fotowiderstand fällt; außerdem arbeitet die Anordnung nur in einem begrenzten Entfernungsbereich zwischen Lampe und Fotowiderstand, abhängig auch von der erreichbaren Lampenhelligkeit. Bei Betreten des dunklen Raums wird die Beleuchtungseinrichtung zunächst

mit einer Taschenlampe (oder auch mit einem Streichholz) »gezündet«. Danach entsteht zwischen Raumleuchte und Fotowiderstand eine Rückkopplung, die den Zustand größtmöglicher Lampenhelligkeit stabilisiert. Soll das Licht wieder gelöscht werden, ist diese Rückkopplung kurzzeitig zu unterbrechen. Das kann durch Abdecken der Fotowiderstandsöffnung mit einem Finger geschehen. (Daher muß diese Öffnung – s. Bild 25 – auch unbedingt berührungssicher abgedeckt sein!) Schwierigkeiten beim Löschen ergeben sich, wenn vom angrenzenden Raum beim Türöffnen zu viel Helligkeit »eingekoppelt« wird. Im einfachsten Fall muß dann mit einer verschiebbaren Abdeckung gearbeitet werden, oder es ist eine Startverzögerungsschaltung notwendig, so daß nach dem Löschen genügend Zeit zum Schließen der Tür bleibt. Man kann auch die Abdeckung so mit der Tür koppeln, daß beim Verlassen des Raumes das Licht automatisch verlischt.

4.4. Stetig reagierender Dämmerungsschalter

Diese Schaltung dürfte größere praktische Bedeutung haben. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind vielseitig. Man kann wieder vom Grundaufbau nach 4.1. oder 4.2. ausgehen, muß aber jetzt eine andere Anordnung zur Lampe wählen. Das Licht der zu steuernden Lampe darf nicht auf den Fotowiderstand fallen. Bei Austausch eines normalen Schalters gegen die Unterputzdose mit Thyristor ist die Anordnung jedoch meist ungünstig. Man benötigt dann eine Steuerleitung, die aber nach den Regeln der Lichtnetzinstallation ausgeführt und isoliert sein muß. Der Lampensteller selbst sollte außerdem weiterhin mit Einschalter ausgerüstet bleiben, damit die Lampe nicht während der gesamten Nacht leuchtet.
Es erscheint also sinnvoller, den Aufbau ähnlich 4.2. vorzunehmen. Die »Stellbox« ist dann lediglich an einem geeigneten Ort (Fenster, gegen Lampe abgeschattet) anzubringen. Mit abnehmender Außenhelligkeit nimmt die Helligkeit der angeschlossenen Lampe stetig zu und erreicht schließlich den mit dem Vorwiderstand (oder mit dem in der Schaltung unverändert belassenen Potentiometer) vorgewählten Endwert. Gegenüber früher üblichen Transistor-Dämmerungsschaltern geschieht dieser Übergang aber infolge der Eigenarten der Thyristorsteuerung ohne erhöhten Leistungsbedarf im »Stellglied«, und es lassen sich bei Netzspannung relaislos übliche Zimmerleuchten steuern.
Der Fotowiderstand ist bei dieser Schaltung parallel zum Kondensator der Zündschaltung zu legen; er arbeitet jetzt im unteren Zweig des auf diese Weise entstandenen Spannungsteilers (Bild 26). Solange er infolge größerer Außenhelligkeit genügend niederohmig ist, kommt kein Zünden zustande. Der Zündwinkel verändert sich in dem Maße, in dem der Fotowiderstand wegen sinkender Helligkeit einen höheren Widerstandswert annimmt.
Während diese Schaltung außer als automatisch einsetzende und stetig »nachführende« Zimmerbeleuchtung vor allem zum Einschalten von Treppen- und Außenlicht verwendet werden kann, sofern die Lampen am Wechselspannungsnetz liegen, ist ein Einsatz z. B. als Parklichtautomatik nicht möglich. Bekanntlich erfolgt das Abschalten automatisch nach Aufheben der Zündbedingung (Steuerstrom) nach jeder Halbwelle, erfordert also Wechsel- bzw. pulsierende Gleichspannung. Beim Einbau des Fotowiderstands, z. B. in die Box nach Abschnitt 4.2., gelten sinngemäß die gleichen Bedingungen wie bei Bild 25.

4.5. Treppenlicht mit stetig abnehmender Helligkeit

Eine große Gefahrenquelle können Treppenlichtautomaten sein, die schlagartig abschalten. Man bedenke, daß in größeren Häusern oft das Licht durch den ersten Benutzer eingeschaltet wird und damit die vorbestimmten (im allgemeinen) 3 min leuchtet. Beim nächsten, der die Treppe betritt, verlischt die Lampe jedoch unter Umständen mitten im Schritt (nur moderne Anlagen signalisieren z. B. mit Glimmlampen das bevorstehende Verlöschen). Wenn es der Automatentyp nicht gestattet, durch

einen weiteren Knopfdruck einen neuen 3-min-Zyklus einzuleiten, bleibt als Ausweg eine Schaltung, bei der das Licht am Ende des Einschaltbereichs nicht schlagartig, sondern allmählich ausgeht. Man erreicht dann rechtzeitig den nächsten Schalter. Bild 27 zeigt einen Experimentiervorschlag für eine solche Schaltung, die allerdings noch nicht an einem geeigneten elektromechanischen Automaten erprobt werden konnte. Die Thyristorschaltung übernimmt im Augenblick der Öffnung des Automatenkontakts den Strom. Im Versuch (Bild 27) wurde dazu die Halbwellenausführung benutzt. Sie spart die 4 Dioden der Graetz-Brücke, und der zulässige Strom durch den Thyristor ist (wenn man ihn entsprechend kühlt) nur noch von seinen Grenzdaten und nicht mehr von denen der Gleichrichter abhängig. Dabei geht die Helligkeit bei Übernahme durch den Thyristor auf die Hälfte zurück, was als Achtungzeichen wirkt. Allerdings ergibt sich damit kein genügend langer Bereich ausreichender Mindesthelligkeit, so daß man – wie in Bild 27 gezeigt – die Anlage am besten von vornherein mit 110-V-Lampen bestückt, wobei aber ein relativ teurer 10-A-Gleichrichter für Netzspannung erforderlich wird, sofern die Lampenströme keinen SY 204 u. ä. mehr zulassen. Eventuell können auch mit Serienwiderständen von je 1 Ω/1 W symmetrierte SY 204 parallelgeschaltet werden. In letzter Konsequenz dürfte daher wohl doch die vollelektronische Lösung gemäß dem folgenden Abschnitt die sinnvollere sein.
In der Dimensionierung nach Bild 27 verlischt die Beleuchtung bei stetig abnehmender Helligkeit nach etwa 30 s. Das reicht sicherlich aus, um den nächsten Taster zu betätigen. (Der Kontakt des elektromechanischen Automaten ist ja bereits geöffnet, der Automat also wieder startbereit.) Die Schaltung verschiebt durch den als gesteuerten Widerstand wirkenden Transistor den Zündwinkel zu größeren Zeiten, so daß die Lampe in dem Maße dunkler wird (und schließlich ausgeht), in dem sich der Basiskondensator C_B (im Bild 500 μF) auflädt. Aus Bild 18i wird klar, warum dazu die positive Spannung hinter dem Gleichrichter am Teiler nicht ausreicht: Bei kleinen Zündwinkeln (also großer Helligkeit, da früher Zündzeitpunkt) lädt sich C_B – über die Periode gesehen – nicht einmal auf die Mindestöffnungsspannung U_{BE} des Transistors auf, denn es steht je Periode nur ein kurzer Ladeimpuls zur Verfügung. Die Gleichrichterschaltung nach Bild 27 dagegen nutzt die Sperrhalbwelle aus, die – unabhängig vom Zündwinkel – stets eine halbe Sinuswelle beträgt. Mit dieser Spannung wird über den gegen »Masse« liegenden Gleichrichter der Koppelkondensator aufgeladen. In der positiven Halbwelle, von der nur ein Bruchteil (bis zum Zünden des Thyristors) anliegt, schaltet sich diese positive Teilerspannung der Kondensator-Ladespannung in Serie; die Gesamtspannung treibt über den zweiten Gleichrichter und den gegenüber dem Teiler-R_i relativ großen Ladewiderstand einen Strom in C_B.
Der 68-kΩ-Widerstand bewirkt, daß die Kondensatorladung (nach Abschalten des Thyristors und Neustart des 3-min-Automaten) innerhalb der Automatenzeit wieder auf etwa 0 abgeklungen ist: $\tau_c \approx 30$ s, also $3\tau \approx 1{,}5$ min; bei 3τ ist die Ladung auf etwa 5 % des Anfangswerts gesunken. Weitere Erläuterungen zur Funktionsweise sind im nächsten Abschnitt enthalten.

4.6. Vollelektronischer Treppenlichtautomat mit Sicherheitsschaltung

Dieser Automat wird für beide Varianten, also mit 110-V-Lampen am 220-V-Netz und mit 220-V-Lampen, vorgestellt.
Unter »Sicherheitsschaltung« sei die bereits als Zusatz zu einem elektromechanischen Automaten im vorigen Abschnitt vorgestellte Lösung mit abnehmender Helligkeit am Ende der »Hellphase« verstanden. Gemäß Bild 28a erfordert die Zeitschaltung eine andere Dimensionierung, da sie jetzt 2 Aufgaben hat: zum einen – wie bisher – gegen Ende der etwa 3 min Hellzeit durch abnehmende Helligkeit zur neuen »Eingabe« zu »mahnen«, und zum anderen die Übernahme der Zeitfunktion des nun überflüssigen elektromechanischen Automaten, also wenigstens 2 min helles Licht vor Einsetzen der Übergangsphase. Bei dieser Schaltung ist eine automatische Kondensatorentladung während der Hellzeit (wie in der Schaltung des vorigen Abschnitts) nicht mehr möglich – im Gegenteil – die ständig unter Spannung stehende Schaltung wird durch die Eingabeart »C-Entladung« gestartet! Die erste

Hellphase ergibt sich automatisch bei Inbetriebnahme, wenn der Stromkreis durch einen zweckmäßigerweise vorzusehenden Hauptschalter (und nach Wiedereinsetzen der Netzsicherungen) erstmals »gestartet« wird. In Bild 28a ist für die C-Entladung ein einfacher (nichtrastender) Druckknopf angedeutet. Er hat aber nur Sinn, wenn die Anlage bis zu den Eingabestellen Netzspannung führen darf bzw. wenn nur an einem Ort (z.B. unmittelbar am Thyristorsteller) geschaltet werden soll. In allen anderen Fällen empfiehlt sich die in Bild 28b dargestellte Impuls-Lichtkopplung, die mit Schwachstromleitungen und -tastern gesteuert wird.
Die Dimensionierung zu Bild 28a ergibt sich wie folgt: Die Darlington-Kombination benötigt einen bestimmten Eingangsstrom, um den Zündwinkel bis zum Grenzwert des Ansprechens der Thyristorschaltung zu verschieben, so daß die Lampe dunkel bleibt. Der Übergangsbereich bis zu diesem Augenblick ergibt sich aus der Aufladung von C_B (im Bild 500 μF). Er muß in der ersten Phase so weit geladen werden, daß seine Spannung über die Basis-Emitter-Schwellspannung des Darlington-Eingangs steigt. Das sind mindestens $2 \times 0{,}5$ V. Bis dahin wird die Thyristorschaltung noch gar nicht beeinflußt. Durch den hohen Basis-Vorwiderstand fließt danach zunächst nur ein sehr kleiner Basistrom, der den Zündwinkel nur wenig verschiebt. Der Strom im Widerstand vor C_B teilt sich nun also zunehmend auf in den (sinkenden) Ladestrom für C_B und in den (wachsenden) Basisstrom der Darlington-Kombination. Der Grenzwert ist erreicht, wenn (bis auf den geringen Reststrom von C_B) der gesamte Strom in die Basis fließt. Dieser Strom – festgelegt durch beide Widerstände – muß ausreichen, um die gewünschte Abschaltung hervorzurufen. In Abhängigkeit von den Transistordaten wird man unter Umständen zu anderen Grenzwerten gelangen. Die Schaltungswerte gelten für eine Kombination aus den Stromverstärkungsgruppen C und D. Erreicht wurden dabei mit $C_{Bges} \approx 300\,\mu$F (Nennwert) 2 min Hellzeit plus 0,5 min Übergangszeit; mit $C_B \approx 50\,\mu$F (Nennwert) 30 s Hellzeit plus 20 s Übergangszeit. Der Hinweis auf »Nennwert« ist wichtig, da Elektrolytkondensatoren beträchtlich höhere Kapazitäten als die aufgedruckten haben können, aber auch bisweilen niedrigere. Das hat aber für eine solche Anwendung keine entscheidende Bedeutung.
Die Verzögerungsschaltung liegt übrigens an der Grenze der mit Elektrolytkondensatoren bei derart hohen Widerständen realisierbaren Werte. Dafür ist der exemplar- und betriebszeitabhängige Leckstrom verantwortlich. (Der Leckstrom verringert sich bei längere Zeit anliegender Spannung.) Man muß bezüglich seiner Wirkung 2 Grenzfälle unterscheiden: Ist er zu hoch, dann wird die Eingangsspannung über den Vorwiderstand und den Leckwiderstand so weit geteilt, daß man den Vorwiderstand verringern muß, damit die Darlington-Kombination anspricht. Hat er sehr niedrige Werte, so lädt sich der Kondensator bis auf den von den beiden ohmschen Widerständen – zusammen mit dem Transistoreingang als Teiler betrachtet – bestimmten Bruchteil der Eingangsspannung auf. Je nach diesem Teilerverhältnis (das wiederum, wie die beschriebene Dimensionierung zu Bild 28a zeigt, variieren kann) liegt damit die Spannung am zeitbestimmenden C u. U. über 10 V, also seiner Nennspannung. Sicherheit gegen solche Effekte bringt die mit »xxx« in Bild 28c eingetragene Maßnahme in From von $4 \times$ SAY 30 o.ä. in Durchlaßrichtung. (Dann sind sogar 3-V-Elektrolytkondensatoren zulässig!) Für die Schaltung nach Bild 28e ist diese Maßnahme nicht erforderlich, sofern das Verhältnis 1 MΩ/ 150 kΩ nicht wesentlich verändert wird.

Zum Lichtkoppler: Die Vorteile dieses vollelektronischen Zeitschalters kommen erst durch die netzpotentialfreie Schwachstromeingabe vollständig zur Geltung. Da nur ein Schaltimpuls gebraucht wird, um die Lampenschaltung zu »zünden«, treten im Lichtkoppler keine Temperaturprobleme auf, so daß die Einheit beliebig klein gehalten werden kann, nur von Lampe und Fotowiderstand abhängig. Auf jeden Fall ist eine zuverlässige, völlige Abdunkelung des Kopplers gegen Außenlicht erforderlich!
Die Kombination von Zeitschaltung und Lichtkoppler ist in Bild 28b dargestellt. Leider sind Fotowiderstände auch bei völliger Dunkelheit meist nicht so hochohmig, daß sich nicht in der Schaltung nach Bild 28a ein erheblicher Teilerstrom ergäbe, der die Funktion in Frage stellt, wenn der Fotowiderstand einfach statt der Taste angebracht würde. Diese negative Nebenwirkung wird vielmehr durch einen Transistor »entkoppelt«, dessen Basisteiler sicherstellt, daß der Dunkelstrom des Fotowiderstands über dem Basis-Parallel-Widerstand nur eine weit unter der Basis-Emitter-Schwellspannung liegende Spannung abfallen läßt. Der Vorwiderstand begrenzt den Maximalstrom auf einen für den Fotowiderstand ungefährlichen Wert (typenabhängig). Außerdem hat er die wichtige Aufgabe, den (nur für die Dauer der Tastenbetätigung fließenden) Strom so klein zu halten, daß die Spannung für den Zündkreis (positive Teilerspannung) für diese Zeitdauer nicht zusammenbricht. Gegebenenfalls R_V und Basis-Parallel-R weiter erhöhen!
Bild 28c gibt die Gesamtschaltung des Treppenlichtautomaten einschließlich Schwachstromversorgung der Lampen des Lichtkopplers über einen Klingeltransformator wieder. Bild 28d zeigt einen Vorschlag für den Lichtkoppler. Hinweise: Diese Schaltung setzt die Verwendung von 110-V-Lampen am 220-V-Netz voraus! Bei Vollwegbetrieb über Graetz-Brücke ist zur Nachbildung der Ladeschaltungsbedingungen ein getrennter Gleichrichter erforderlich. Eine solche 220-V-Lampenvariante – wegen der Gleichrichter im Nennstrom auf 1,4 A begrenzt – zeigt Bild 28e. Das Muster dieses ebenfalls vollelektronischen Treppenlichtautomaten hat eine Hellzeit von etwa 3 min und verändert vom Ende der 2. min an die Helligkeit stetig bis 0. Das übrige Verhalten entspricht der 110-V-Lampen-Variante. Im übrigen ist (s. Bild 28c) der Wert des Vorwiderstands zum Zündkondensator wiederum so einzustellen, daß er oberhalb des Wertes bleibt, bei dem die Lampe (»jenseits« der vollen Helligkeit) wieder verlöschen würde.

4.7. »Lampenkopf« für Lichtorgel

Von den Frequenzen einer Musikdarbietung gesteuerte Beleuchtungseffekte erfreuen sich großer Beliebtheit. Problematisch ist dabei der Übergang von der Steuerschaltung zu den Lampen, wenn diese direkt vom Netz betrieben werden sollen. Die Anwendung nach Abschnitt 4.3. bietet dafür eine »saubere« Lösung. Man bedient sich dabei einer Lichtkopplung, d.h. eines optoelektronischen Kopplers. Im 2. Teil der electronica-Broschüre »Amateurelektronik 75« (erschienen August 1975) wird eine einfache Lichtorgelschaltung für Niederspannung vorgestellt, die in ihrer Grundform lediglich in 3 Lampen 3,8/0,07 endet. Diese Lampen reichen als Geber für das Zünden der Leistungskreise völlig aus. Die Anlage wird dadurch am günstigsten nach Bild 29 ausgelegt, d.h.: Das steuernde elektroakustische Gerät (z.B. Kassettenrecorder, Plattenspieler oder Rundfunkempfänger) und die Filter- und Verstärkerschaltung der Lichtorgel bis zu den 3 Lampenausgängen werden an dem für die Bedienung günstigsten Ort angebracht. Von da aus verlaufen 3 2adrige Schwachstromleitungen (z.B. Lautsprecherkabel) zu den »Lampenköpfen«. Diese können die Form entsprechend Abschnitt 4.2., modifiziert nach Bild 25, haben. Auf die Öffnung für den Fotowiderstand setzt man nun jedoch die steuernde Kleinglühlampe, z.B. in der Weise, wie sie aus Bild 30 hervorgeht.
Gegen Fremdlicht muß in diesem Fall sorgfältig abgedichtet werden. Übrigens: Diese »Lichtkoppler«-Anordnung ist ausgezeichnet zur Schwachstromsteuerung von beliebigen Leuchten geeignet!

4.8. Berührungsfreie Transformatorkopplung

Ähnlich ungefährlich wie nach 4.7. läßt sich eine Thyristorschaltung in geschlossenem Gehäuse gemäß Bild 31 zünden. Auf Dimensionierungsangaben sei verzichtet; die Schaltung ist daher als Anregung zu betrachten. Die Ankopplung des Zündimpulses erfolgt durch die 2. Hälfte eines Schalen- oder EE-Kerns, dessen 1. Hälfte in der Thyristorbox montiert wurde. Für den Wicklungsträger verwendet man 2 2-Kammer-Körper, von denen jeweils nur eine Hälfte benutzt wird. Die äußere Transformatorhälfte kann angeklebt oder auf eine geeignete Halterung aufgesteckt werden. Für diese wie auch für die Variante nach 4.7. dürften sich viele Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

4.9. Niederspannungs-Sensor-Wechselschalter für 220-V-Lampe

Mit dem im System »Amateurelektronik« enthaltenen Baustein SUS 1 (Sensor-Umschalter) kann eine optoelektrisch angekoppelte Thyristorschaltbox oder -dose im Sinne von Abschnitt 4.7. so angesteuert werden, daß der gesamte Steuerkreis nur mit Schwachstrom betrieben wird und völlig ohne mechanische Kontakte arbeitet. Im Interesse langer möglicher Steuerleitungen wählt man die Betriebsart »statisch«; dazu sind 3geteilte Sensorelektroden erforderlich, von denen mehrere im Raum verteilt sein können. Bild 32 gibt die nötigen Informationen; näheres zum SUS 1 (Innenschaltung, Bestückung) findet der Leser in der bereits unter 4.7. genannten electronica-Broschüre. Damit die Einrichtung beliebig lange in Betrieb bleiben kann, wird der SUS 1 aus einem Klingeltransformator gespeist.

5. Erfahrungen mit dem LT 10 S und mit Importthyristoren

Da bei Manuskriptabschluß (gemäß entsprechenden Informationen) die allgemeine Verfügbarkeit des ST 103 noch nicht sichergestellt war, wurden einige Exemplare des Basteltyps der Reihe ST 111/ST 121 (Kombinat VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder, Betriebsteil Stahnsdorf) auf ihre Eignung in den für den ST 103 entwickelten Schaltungen untersucht. Man erhält diesen Bastelthyristor unter der Bezeichnung LT 10 S. Von 3 vorliegenden Exemplaren wiesen 2 genügend hohe Blockier- und Sperrspannungswerte auf, so daß sie für Netzbetrieb eingesetzt werden konnten. Außerdem wurden noch sowjetische 10-A-Thyristoren für maximal 600 V mit der Bezeichnung T2-10-6-Г getestet, die vor einiger Zeit als preisgünstiges Sonderangebot im Handel waren. Ergebnisse: Die vorliegenden Exemplare des LT 10 S zeigten erstaunlich kleine Zündströme (unter 3 mA), während die untypisierten ST 103 zwischen 15 mA und 20 mA lagen. Die Importthyristoren benötigten sogar etwa 100 mA. (Hoher Zündstrombedarf muß übrigens nicht als für jeden Zweck nachteilig gewertet werden – im gleichen Maße erhöht sich die Sicherheit gegen das Ansprechen auf Störimpulse! Allerdings werden eben an die Zündschaltung größere Anforderungen gestellt.) Die für den ST 103 benutzte Impulszündschaltung erwies sich sogar diesen Ansprüchen gewachsen. In der Neudimensionierung nach Bild 33a konnte der genannte Importtyp mit einer 110-V-Lampe für 100 W als Lampensteller entsprechend Bild 16 benutzt werden; nach Bild 33b war es möglich, noch eine 40-W-Lampe für 110 V am 220-V-Netz zu betreiben. (Man beachte also, daß es schwieriger ist, kleinere Leistungen zu stellen als größere!) Der höhere Zündstrombedarf erforderte allerdings infolge der veränderten Teilerdimensionierung den Einsatz eines (aber eben nur eines einzigen) »netzspannungsfesten« Gleichrichters. Selbstverständlich läßt sich auch die Schaltung gemäß Bild 8 (Vollwegbetrieb, 220-V-Lampen) sinngemäß für diese Thyristoren und ihnen ähnliche umdimensionieren.
Völlig ohne Änderung ließen sich die LT-10-S-Exemplare auf Grund ihres niedrigen Zündstrombedarfs in der Schaltung nach Bild 8 bzw. Bild 16 einsetzen. Darauf sei als möglicher Ausweg gegenüber der augenblicklichen unübersichtlichen Beschaffungslage zum ST 103 hingewiesen! Allerdings muß dem Einsatz auf jeden Fall Ausmessen bezüglich Sperr- und Blockierspannung sowie Zündstrombedarf vorausgehen (s. Abschnitt 7.). Bei höheren Zündströmen handelt man im soeben beschriebenen Sinne. Niedrigere Sperr- und Blockierspannungen zwingen zum Einsatz bei Niederspannung mit dem Vorteil bei diesen Typen, daß man erheblich mehr Strom zulassen kann. Dadurch dürfte im allgemeinen nur noch die Leistung des verfügbaren Transformators die Lampenleistung nach oben hin begrenzen.
Bei niedrigem Zündbedarf bietet sich im übrigen noch eine ökonomische Lampenstellervariante an, die mit den genannten LT-10-S-Exemplaren erfolgreich erprobt worden ist (Bild 34).
Bei dieser Schaltung kann man entweder die Verlustleistung verringern (um etwa 1,25 W), indem eine netzspannungsfeste Diode zwischen Thyristor und Vorwiderstand geschaltet wird, oder bei maximal etwa 2,5 W Verlustleistung für den 18- bis 22-kΩ-Widerstand (der auch aus mehreren Teilwerten kleinerer Belastbarkeit zusammengesetzt sein kann) ist eine weniger hoch sperrende, also billigere

Diode gemäß Anmerkung in Bild 34 einzusetzen. In diesem Fall wirkt die Durchlaßrichtung der Z-Diode für die negative Halbwelle, bei der ja in dieser Halbwellenschaltung der Thyristor sperrt. Die Hauptaufgabe der Z-Diode ist es, Flackern bei kleiner Helligkeit infolge von Netzspannungsschwankungen zu vermeiden.
Der Parallelwiderstand zum Potentiometer wird zur Anpassung leichter erhältlicher Potentiometer höheren Widerstandswerts mit Netzschalter dem jeweiligen Wert des Potentiometers angeglichen, so daß die vorgesehene Lampe bei maximalem Widerstandswert gerade noch glimmt. (Übrigens: Das Potentiometer muß stets so eingesetzt werden, daß beim Einschalten der größte Widerstandswert gegeben ist!) Je nach Z-Diode (ihre Spannung kann zwischen etwa 6 und 12 V liegen) wählt man den Parallelwiderstand zum Kondensator: Bei einer 110-V-100-W-Lampe und 6 V z. B. 2,2 kΩ, bei 60 W 3,3 kΩ, bei 60 W und 12 V aber 1 kΩ. Für ein 10-kΩ-Potentiometer und eine 6-V-Z-Diode ist ein günstiger Parallelwert 1,2 kΩ; für eine 12-V-Z-Diode 1,8 kΩ.
Hinweis: Diese Schaltung eignet sich nicht für Thyristoren mit höheren Zündströmen, da dann nicht nur der Vorwiderstand sehr viel kleiner sein müßte und damit mehr Verlustleistung bedingt, sondern weil dann auch die normale Kleinleistungs-Z-Diode durch einen teuren Leistungstyp ersetzt werden müßte!
Die Schaltung nach Bild 34 läßt sich bis zu Betriebswechselspannungen von etwa 12 V herunter bei entsprechend kleinerem Vorwiderstand ohne weitere Änderungen einsetzen, ist also ausgezeichnet für Kleinspannungen bei höheren Strömen geeignet, z. B. zum Betrieb von 12-V-Kfz-Lampen in einer ungefährlichen (mit Schutztransformator ausreichender Belastbarkeit versehenen) Kleinspannungsanlage!

6. Hinweise für Niederspannungseinsatz von Thyristoren

Je nach Verfügbarkeit von Schutztransformatoren bis etwa 42 V Sekundärspannung bei entsprechender Belastbarkeit in Verbindung mit Niederspannungslampen lassen sich vom Netz getrennte, also auch beim Hantieren ungefährliche Schaltungen aufbauen.
Da vertretbare Lampenleistungen infolge der kleineren Spannungen schnell zu hohen Strömen führen und weil außerdem der bis zu 10fache Lampenkaltstromstoß zu beachten ist, wird man vielfach Thyristoren größerer Strom- und Leistungsbelastbarkeit einsetzen müssen, die jedoch als Basteltypen (und damit auf jeden Fall für Niederspannung geeignet) gegenwärtig z. B. als »LT 10 S« in der Bauform des Markentyps ST 111 bzw. ST 121 vorliegen.
Man setzt sie – wenn die volle Belastbarkeit bis zu 13 A gewünscht wird – mit dem dazu erhältlichen Kühlkörper K 50/M8 (bis 9 A mit K 25/M8) ein. Steuerseitig ist zu bedenken, daß der Zündstrom (bei bis zu etwa 3 V Zündspannung) in der Größenordnung von 100 mA liegen kann, so daß man bei der Dimensionierung der Zündschaltung darauf Rücksicht nehmen muß. Die Durchlaßspannung liegt im allgemeinen unter 2 V, muß aber gerade in Niederspannungskreisen berücksichtigt werden, denn sie stellt bereits einen beachtenswerten Prozentsatz der verfügbaren Spannung dar!
Unter der Voraussetzung einer Betriebsspannung von z. B. 12 V und einem K 25/M8 als Kühlkörper lassen sich – wenn gegen den Kaltstromstoß Maßnahmen z. B. im einleitend genannten Sinne möglich sind – also 2 Pkw-Lampen von je 35 W betreiben. Das bedeutet bereits eine beachtliche Helligkeit, da der Wirkungsgrad dieser Niederspannungslampen gut ist. Vorausgesetzt werden muß selbstverständlich ein Netztransformator ausreichender Belastbarkeit, dessen Sekundärwicklung entsprechend den Sicherheitsvorschriften gegenüber der Primärseite isoliert worden ist. Er ist so in einem stabilen schützenden und isolierenden Gehäuse zu montieren, daß auch im Fehlerfall zwischen Sekundär- und Primärkreis keine galvanische Verbindung entstehen kann.

7. Prüfen von Thyristoren

Im Zusammenhang mit diesem Abschnitt betrachte man nochmals Bild 2. Bei den bisher vorgestellten Schaltungen wurde (außer nach 6.) stets vorausgesetzt, daß der Thyristor wenigstens den Bedingungen der Spannungsklasse 4 genügt, d. h., daß er mit Sicherheit 400 V Spitzenspannung sowohl in Sperr- wie auch in Blockierrichtung aushält. Sicherer bezüglich möglicher Spannungsspitzen aus dem Netz oder – wenn die Schaltung Induktivitäten enthält – wegen deren Abschaltspannungen ist es jedoch, Klasse 5 oder gar 6 einzusetzen.
Außerdem wird als selbstverständlich vorausgesetzt, daß der Thyristor überhaupt funktioniert. Eine Prüfung auf Funktionstüchtigkeit ist auch bei Markenware mit aufgedruckten Daten vor dem Einsatz stets zu empfehlen und relativ leicht möglich, während die Ermittlung der Spannungsklasse bei nichttypisierten Exemplaren das Vorhandensein einer Spannungsquelle möglichst bis 600 V voraussetzt. Vielfach wird man vielleicht beim Leiter der Arbeitsgemeinschaft Elektronik oder im GST-Stützpunkt Hilfe finden. Alle Leser, denen der Umgang mit höheren Spannungen nicht mehr fremd ist, finden aber in Bild 38 am Ende dieses Abschnitts einen günstigen Ausweg.
Bild 35 zeigt Bauformen und Anschlüsse von in der DDR verfügbaren Thyristoren. Gemäß Grundschaltung gelingt es mit der Schaltung nach Bild 36 schnell, bei unbekannter Bauform Steueranschluß und Katode zu ermitteln. (Die beiden Anzeigewerte liegen allerdings manchmal relativ dicht beieinander, wie es sich z. B. bei den untypisierten Plastthyristoren zeigt! Im Zweifelsfall entscheidet die nächste Prüfung, da bei Falschpolung keine Zündung erfolgt.)
Nach Bild 37 prüft man dann die Funktionsfähigkeit und mißt schließlich bei $U_{AK} \approx 6$ V (das ist ein häufig empfohlener Wert) die Hauptdaten außer Spannungsklasse, also Zündspannung, Zündstrom (nach Bild 37b) und Haltestrom (bei abgeschaltetem Zündkreis).
Für die Prüfung der Spannungsfestigkeit wird folgender Weg vorgeschlagen, der 2 Vorzüge hat: Es wird von einer ungefährlichen, vom Netz getrennten Kleinspannung ausgegangen, und eine Prüfaufnahme verhindert, daß man versehentlich mit der hohen Spannung in Berührung kommt. Die Schaltung nach Bild 38 mag bezüglich der Wahl der Bauelemente etwas »unkonventionell« sein, bewies aber ihre Brauchbarkeit. (Allerdings setzt die Isolationsfestigkeit des Klingeltransformators diesen Messungen eine obere Grenze.) Man geht von einem Schutztransformator aus, dessen Sekundärspannung 15 bis 20 V bei wenigstens etwa 0,5 A Nennbelastbarkeit betragen sollte. (Bei 20 V erreicht man in der Anordnung etwa 600 V Spitzenspannung.) Ein Eisenbahn-Zubehörtransformator für 16 V Nennspannung ist für die Messung ebenfalls ausreichend. Mit einem Drahtpotentiometer (10-W-Typ) von 100 Ω (notfalls 50 Ω) läßt sich diese Spannung von 0 bis zum Maximalwert abgreifen. Es empfiehlt sich, sekundärseitig ein Wechselspannungs-Voltmeter anzuschließen, denn bei einer einmaligen Potentiometereichung würden z. B. Netzspannungsänderungen unbemerkt bleiben. Da solche Instrumente in Effektivwerten geeicht sind, ist der ermittelte Grenzwert mit 1,4 zu multiplizieren (Spitzenwert), wenn der Prüfling in die entsprechende Spannungsklasse eingeordnet werden soll.

Der Schutzwiderstand im Meßkreis soll den Maximalstrom begrenzen. Er darf bezüglich Leistung unterdimensioniert sein, da er die Leistung der Quelle nur im Fehlerfall aufzunehmen hat. Zusätzlich wurde eine flinke Sicherung für 35 mA vorgesehen.
Die Gleichrichterdiode (wenigstens eine SY 206 bzw. SY 320/6) bewirkt, daß der Prüfling in beiden Richtungen einzeln gemessen werden kann. Das bedingt allerdings für den angezeigten Strom einen Korrekturfaktor, da bei einem Drehspulinstrument nur der arithmetische Mittelwert angezeigt wird. Für den Test genügt es, wenn man den Meßwert etwa mit Faktor 3 multipliziert. Der z. B. für den ST 111 zugelassene maximale Sperrstrom von 5 mA ist also erreicht, wenn das Instrument etwa 1,7 mA anzeigt. Die vorhandenen, für Netzspannungsbetrieb geeigneten Exemplare des LT 10 S ergaben übrigens bei 600 V Spitzenspannung weniger als 50 µA, während an einem dieser Thyristoren 1,7 mA bereits bei 100 V Spitzenspannung erreicht wurden. Das bedeutet also Beschränkung auf Niederspannung. Von den vorhandenen untypisierten Plastthyristoren zeigten mehr als 50 % bis 500 V Spitzenspannung weniger als 20 µA Sperrstrom in beiden Richtungen!

Ein Hinweis noch zum Berührungsschutz: Zunächst einmal beginne man stets beim linken Anschlag des Potentiometers. Das muß sich deutlich erkennen lassen. Weiterhin empfiehlt sich eine mit einem zusätzlichen Vorwiderstand (Wert je nach Lampentyp) versehene Glimmlampe direkt an der Sekundärseite des gekapselt bleibenden Klingeltransformators. Schließlich aber sind, wie in Bild 38 ebenfalls angedeutet, primär-, notfalls sekundärseitig 2 Mikrotaster einzuschleifen, die den Stromkreis erst dann schließen, wenn die Aufnahme des Prüflings geschlossen wird. Für diesen Zweck eignet sich z. B. ein durchsichtiger Plastbehälter mit Scharnierdeckel (Anglerzubehör o. ä.), wobei die Mikrotaster etwa nach Bild 39 zu montieren sind. Selbstverständlich müssen auch die Anschlüsse (vor allem, falls in Sekundärkreis liegend) sorgfältig isoliert werden.

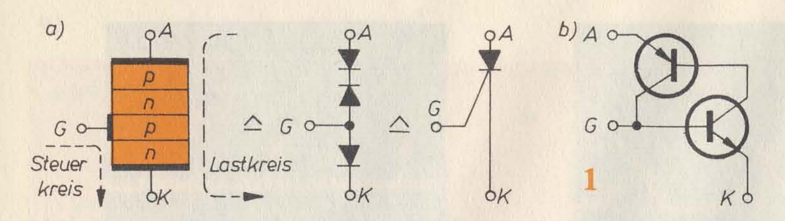
8. Thyristoren aus DDR-Fertigung

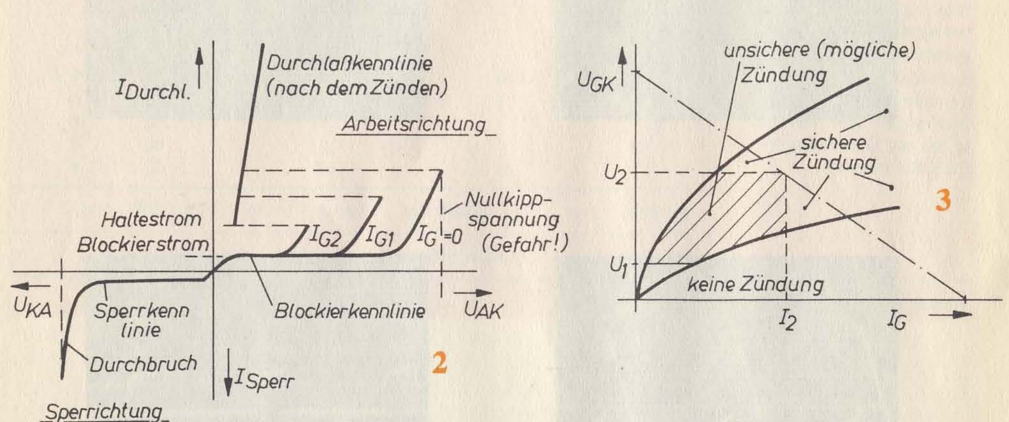
Zur Abrundung noch die wichtigsten Daten der in der DDR gefertigten Thyristoren (bei 25 °C). Die auf den Exemplaren hinter dem Schrägstrich in der Typenbezeichnung enthaltene Zahl gibt, mit 100 multipliziert, die Höhe der periodischen Spitzensperr- und der periodischen Spitzenblockierspannung an: 0,5 also = 50 V, 1 = 100 V, 10 = 1000 V usw. Im allgemeinen setzt man die Typen mindestens mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 gegenüber der höchsten periodischen Spitzenspannung an, die im Anwendungsfall auftritt, bei 220 V Wechselspannung also mit $\sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1{,}3\,\text{V} \approx 400\,\text{V}$. Nicht in Tabelle 1 angegebene Werte fehlten im benutzten Katalog. Quelle: RFT-Halbleiter-Bauelemente 1974.

Achtung!
Bei entsprechendem Bedarf wird der Konsum-Elektronik-Versand Wermsdorf, bei dem übrigens (Zeitpunkt Redaktionsschluß) ein reichhaltiges Angebot vorwiegend sowjetischer Thyristoren sowie von Anfall- und Markentypen der Reihen ST 111 und 121 vorhanden ist, Allgebrauchs-Glühlampen für 110 V zum Einsatz in Lampenstellern kleinen Aufwands am 220-V-Netz nach 4.2. in sein Sortiment aufnehmen. Man beachte die Hinweise in der Fachpresse!

Tabelle 1

	Plastthyristor	Einpreßthyristor	einschraubbarer Thyristor		
	ST 103/1...6	ST 108/0,5...6	ST 111/1...12	ST 121/1...12	
Dauergrenzstrom	3	6	13	23	A
effektiver Durchlaßstrom	4,5		25	40	A
periodischer Spitzenstrom	15		145	235	A
Zündspannung	< 3	3	< 3	< 3	V
Zündstrom	< 20	150	< 100	< 100	mA
Haltestrom	< 20		< 80	< 80	mA
Schwellspannung	< 2		< 2	< 2	V
(bei ...A)	(9 A)		(60 A)	(60 A)	
Sperr- und Blockierstrom (bei periodischer Spitzenspannung)			< 5	< 5	mA
Zündzeit	< 10		4	4	µs
Freiwerdezeit	< 100	60	60	60	µs
innerer Wärmewiderstand	< 10		< 1,3	< 1	grd/W





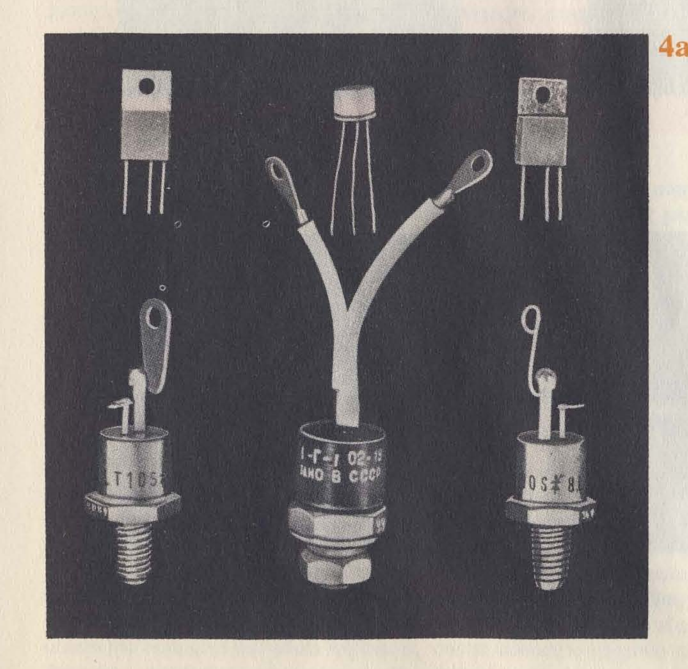


Bild 1
Thyristor; a) Zonenfolge und Anschlüsse, b) Nachbildung mit 2 komplementären Transistoren
Bild 2
Thyristorkennlinien mit den wichtigsten Begriffen
Bild 3
Streubereich der Eingangskennlinien eines Typs (Zündrichtung); U_1: »Nicht-Zündspannung« (0,1 bis 0,5 V); U_2, I_2: Zündung aller Exemplare des Typs; strichpunktiert: »Mindestkennlinie« eines Zündgenerators für alle Exemplare des Typs (Verlauf durch U_2/I_2; Steigung – d. h. U_l oder I_k – wählbar)
Bild 4
a) Thyristorbauformen, b) Kühlkörper

Bild 5
a) Gleichstromzündung,
b) Impulszündung
Bild 6
a) Transistor-Zündschaltung,
b) Zündung mit Glimmlampe

4b

a) P R L A Th K G U e ~ 0 I zünd bei t zünd
b) U e t π 2π
7
c) U RL t zünd π 2π Stromflußwinkel Zündwinkel
d) U Th Blockierrichtung t zünd Sperrichtung
e) P L1 U e ~ C zu Bi. 7a (L2) 0

a) Rv + I konst. Lastkreis – Zündkreis
b) Rv Zündbauelem. Zündkreis Lastkreis U→U Zünd. I ab U Zünd.
5

a) oder ~
b) oder ~
6

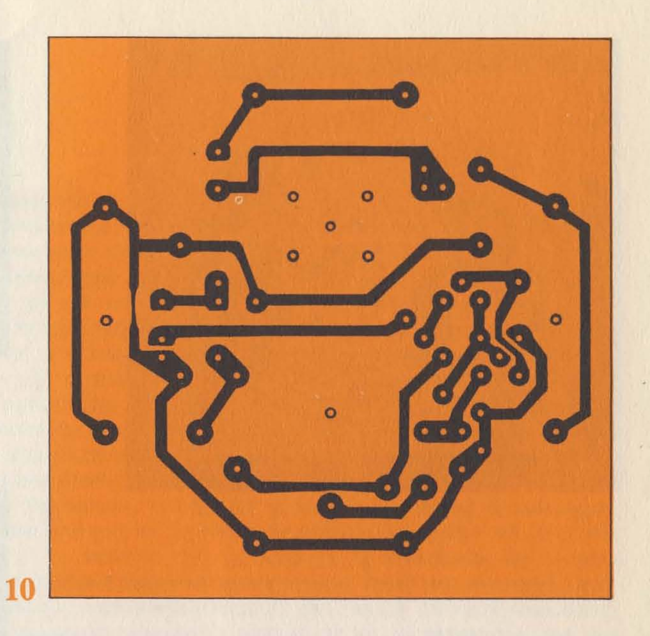
a) z.B. 100W/220V 0 220V ~ P
b) 8
bzw. Dr 2 (s. Text)
≈4,7 10 82k ½W 11 2,2k 19
(n. Text bei 4.1!)
Dr1 5 10k 2 4,7…5,6k 13 GC 121C 20
(s. Bi. 8a) 1 2x 47n 3 4 /1000V 6 8 820 14 Th 12
7 9 47 15 21 SF 126 D
4 x SY 204 (320/4) 8,2k 16 0,5µ 50V 17 4,7k 18 4,7k 22
Th(12): ST 103/5, ST 111/5 o.ä. (vgl. Abschn. 5!)

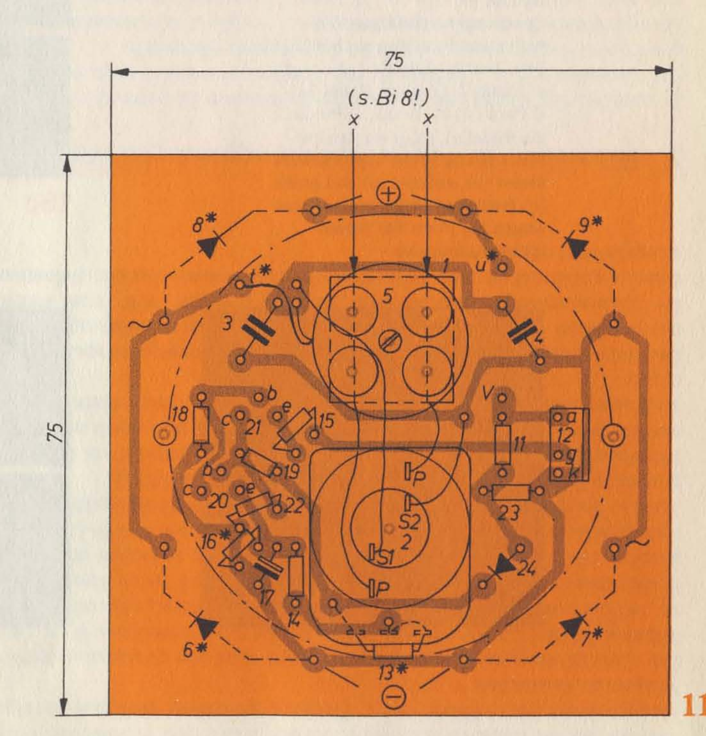
Bild 7
a) Thyristor mit ohmscher Last bei Wechselspannung, b) Eingangsspannung, c) Spannung über dem Lastwiderstand, d) Spannung über dem Thyristor, e) bei dieser »Phasenanschnittsteuerung« nötige Entstörkombination

Bild 8
Thyristor-Lampensteller im »Vollwellenbetrieb«; der Brükken- oder Graetz-Gleichrichter stellt positive Halbwellen zur Verfügung, die vom Thyristor geschaltet und dem Lastwiderstand zugeführt werden.
a) ursprünglicher Lampenkreis, b) diese Schaltung wird statt des Lichtschalters in die Schalterdose eingebaut. Nr. 10 ist 4,7 Ω (nicht verwechseln!); Nr. 15 ist 47 Ω

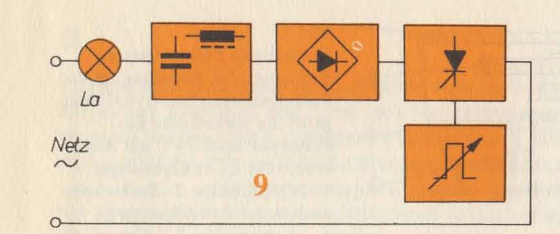
Bild 10
Leitungsmuster für Lampensteller in Unterputzdose nach Bild 8b (auch für Schaltung nach Bild 16 bei Beachten der Unterschiede geeignet!)

Bild 11
Bauelementeseite mit »durchschimmerndem« Leitungsmuster zu Bild 10; Bestückung gemäß Bild 8, Gleichrichtermontage nach Bild 13. Eingriffe für Schaltung nach Bild 16: ohne 6, 7, 8, 9, 10, 13, 16 (s. Sterne); Dr. 1 von t auf v. Eingriffe für Schaltung nach Bild 8: zwischen u und v leiterseitig isoliert Nr. 10 (bei 100-W-Lampe 4,7 Ω) einsetzen oder Dr. 2 rechts unten einfügen; Engstelle in Bild 10, links, auftrennen; Gleichrichterbrücke (gestrichelt) leiterseitig aufsetzen; 13, 16 einbauen; 23, 24 entfernen; statt 24 Drahtbrücke einsetzen; 17 von 1/15 auf 0,5/50 ändern; 14 (Abgleichwert) erhöhen. Senkschraube M3 × 30 (möglichst Messing) in 5 stecken und vorsichtig Mutter anziehen. Bauelemente stehend montieren und gegen Berühren untereinander sichern; zwischen Potentiometermutter und Leiterplatte Hartpapierscheibe legen


10

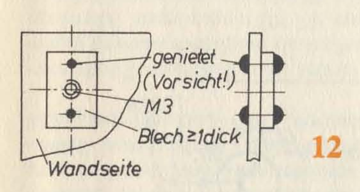


11



9

Bild 9
Funktionsgruppen des Vollwellen-Lampenstellers



12

Φ1
Φ3,2
Φ6
Φ10

13

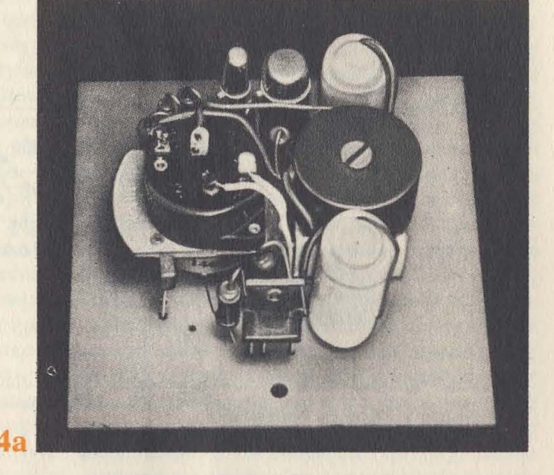
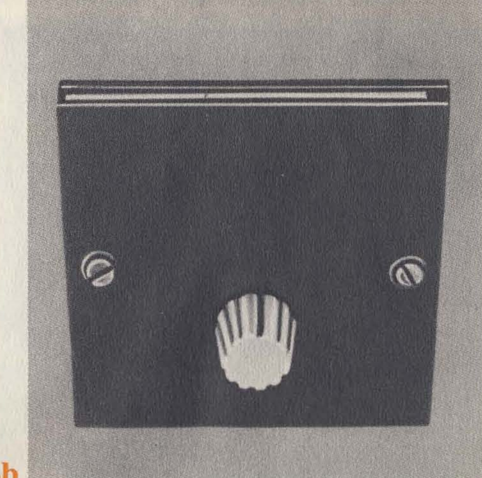

14a

Bild 12
Befestigungsmöglichkeit der Abdeckhaube an der Leiterplatte mit Gewindeplatten

Bild 13
Abdeckhaube für Lampensteller mit Graetz-Gleichrichter;
1 – Senkschraube, 2 – Drehknopf (Madenschraube versenkt und mit Isoliermaterial abgedeckt!), 3 – Gleichrichter (4 × SY 204 o. ä.), 4 – Isolier-Zwischenplatte (Achse ebenfalls isolieren!), 5 – Abstands-Isolierrohr, 6 – Polystyrolplattenmaterial für Haube (geklebt), 7 – Leiterplatte (Leiterseite oben), 8 – Wand mit Unterputzdose (darin übrige Schaltung)

Bild 14
Ansichten des Thyristor-Lampenstellers für Unterputzmontage


14b

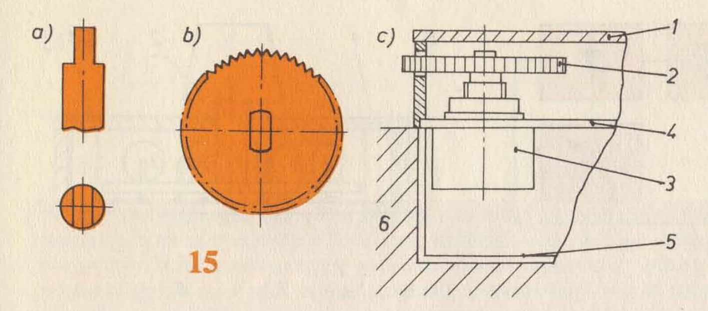


Bild 15
Vollisolierte Potentiometer-Bedienung; a) Änderung an der Potentiometerachse, b) mit Feile geriffelte Stellscheibe aus Polystyrol oder PVC mit Ausschnitt für a), c) Einbaulage: 1 – Abdeckhaube, 2 – Stellscheibe nach b, 3 – Potentiometer, 4 – Leiterplatte, 5 – Unterputzdose, 6 – Wand

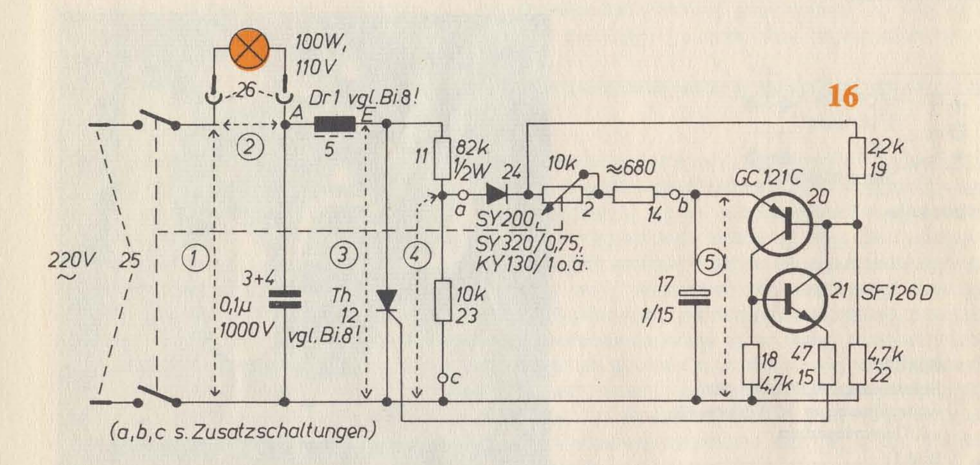
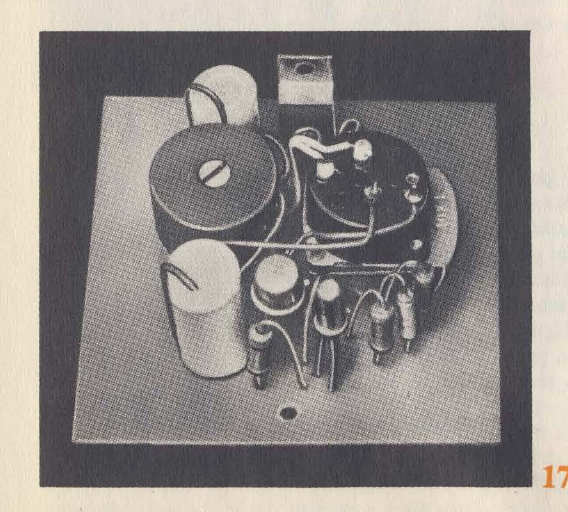
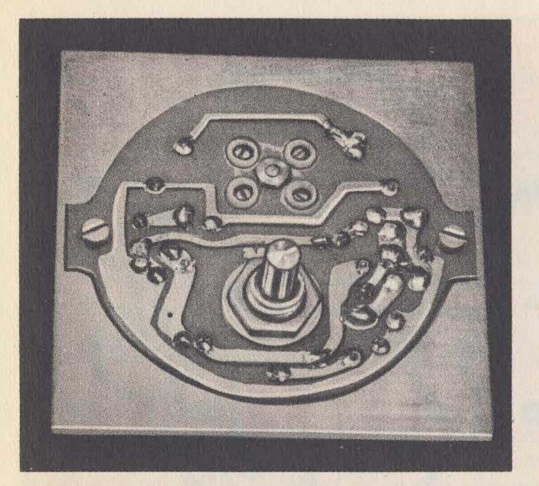


Bild 16
Thyristor-Lampensteller im »Halbwellenbetrieb« mit 110-V-Lampe am 220-V-Netz; spart 4 für Netzbetrieb geeignete Gleichrichter! Die mit Kreis markierten Zahlen 1 bis 5 beziehen sich auf den Text zu Bild 18. Nr. 15 ist 47 Ω (nicht verwechseln!)



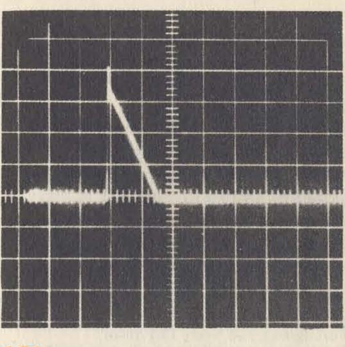
17a

Bild 17
Ansichten des »Halbwellen-Stellers« in der Unterputzvariante

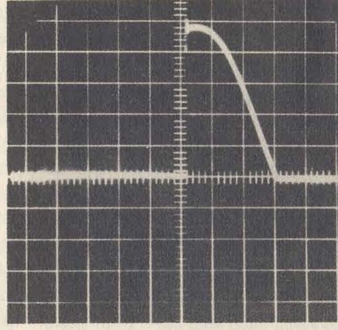


17b

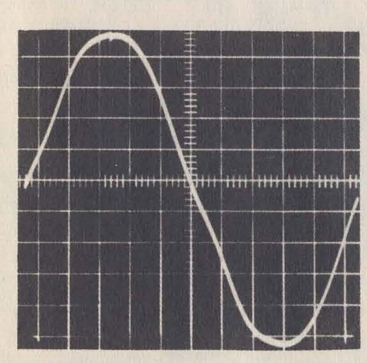
Bild 18
Spannungsverläufe zum Verhalten der Schaltung nach Bild 16 (vgl. Text!); a) Punkt 1; b), c), d), e) Punkt 2; f), g), h) Punkt 3; i) Punkt 4; k), l), m), n) Punkt 5; die Bilder o), p), q) wurden zwischen G und K des Thyristors für kleine (o), mittlere (p) und große (q) Helligkeit aufgenommen und zeigen die Form der Steuerspannungsimpulse



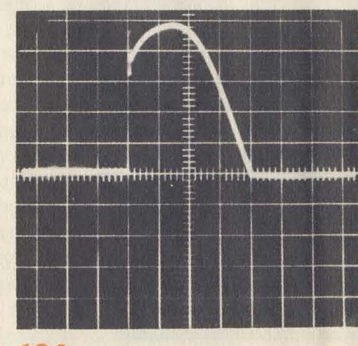
18b



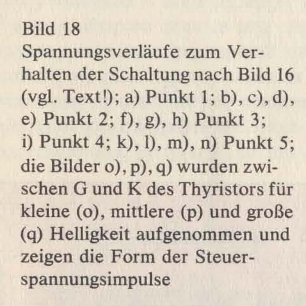
18c

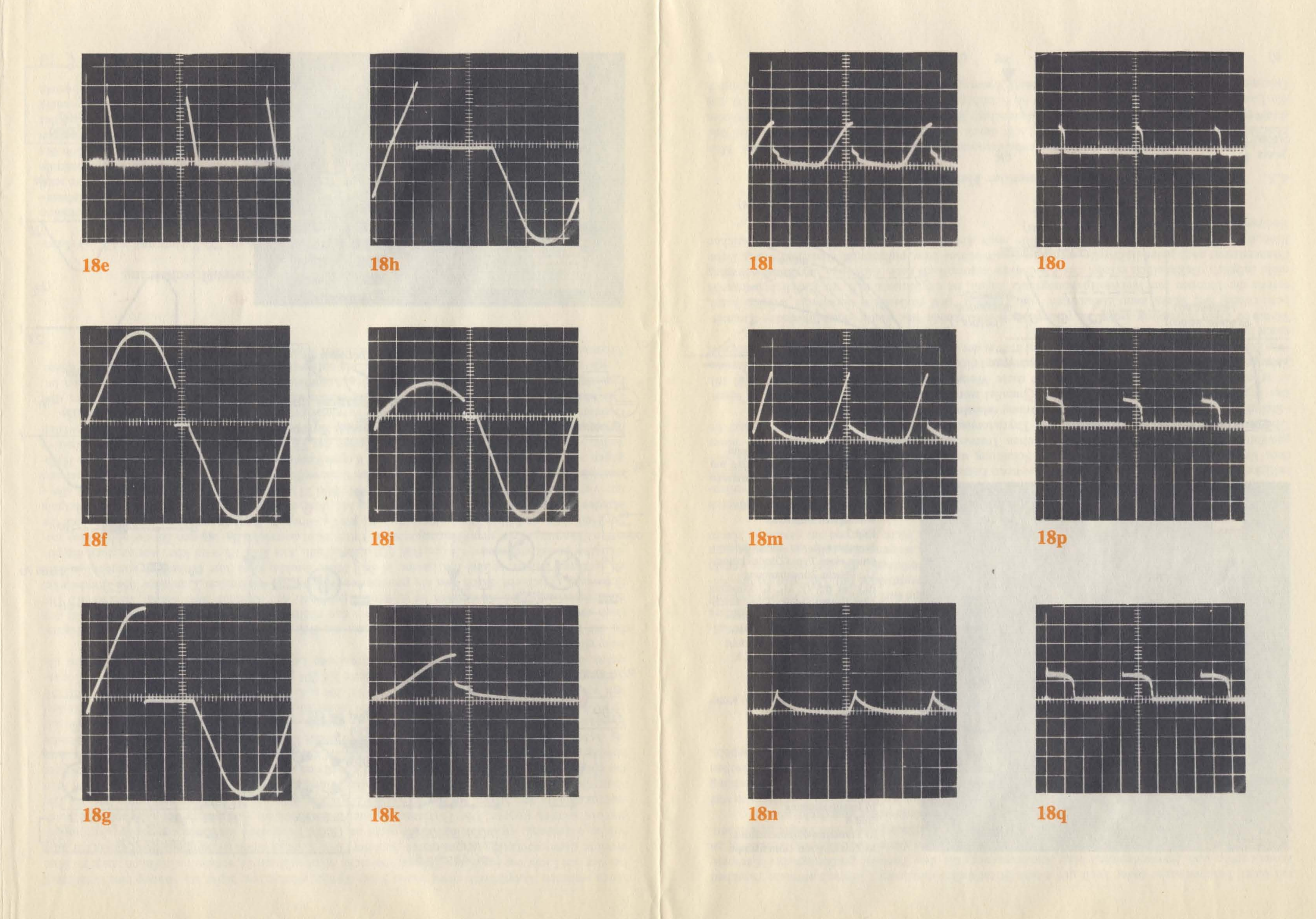


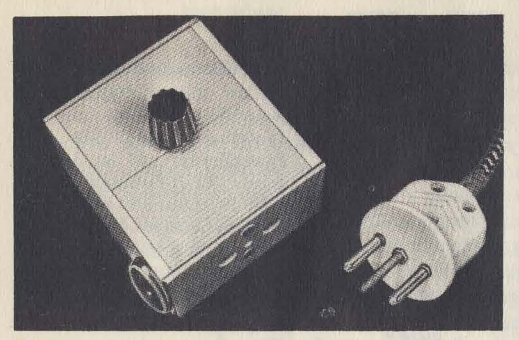
18a



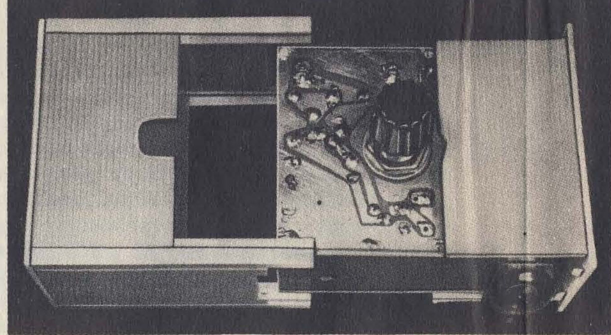
18d




18e
18h
18l
18o
18f
18i
18m
18p
18g
18k
18n
18q

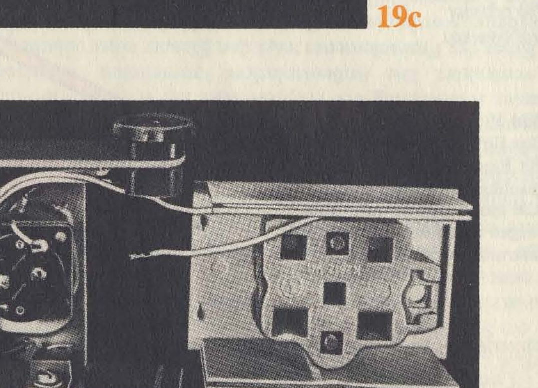


19a



19b

19c



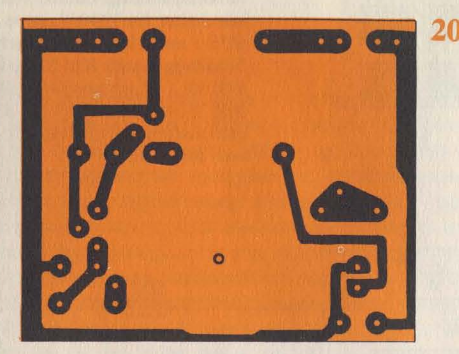
19d

Bild 19
Ansichten der Stellbox für Tischlampenbetrieb mit 110-V-Lampe am 220-V-Netz (Spezialstecker beachten!); Gehäuseteile von »Amateurelektronik«

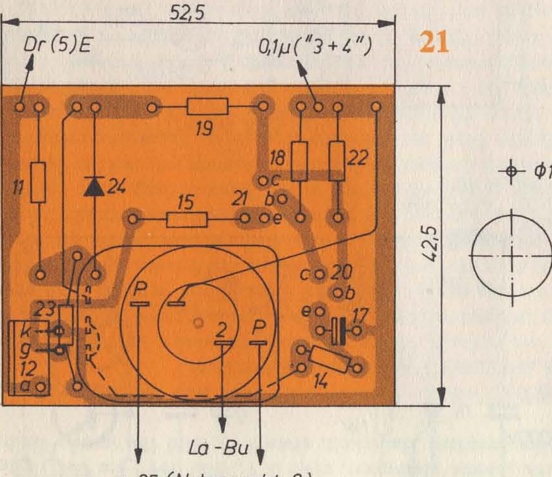
Bild 20
Leitungsmuster für Lampensteller nach Bild 16 in Stellbox

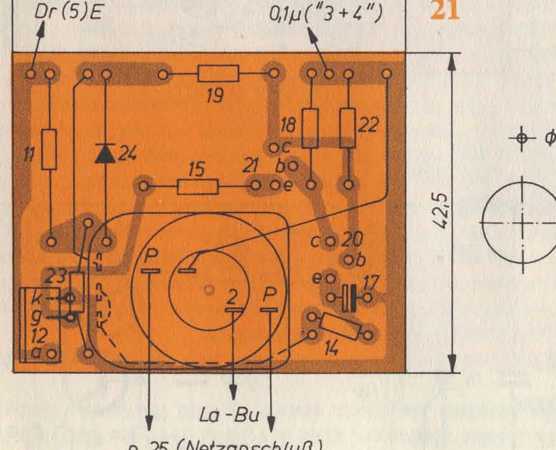
Bild 21
Bauelementeseite mit »durchschimmerndem« Leitungsmuster zu Bild 20, Bestückung gemäß Bild 16. Zwischen Potentiometermutter und Leiterplatte Hartpapierscheibe legen

Bild 23
Montagehinweis zu Bild 19 bis Bild 22: A bis D siehe Bild 22; 25 und 26 siehe Bild 16; E – Frontplatte, F – Wandelement (beide von »Amateurelektronik«), bei F Rippen entfernt; G – Lage des Potentiometers. 25 ist Netzbuchse (z. B. von »Sonett«), 26 »Aufputz«-Steckdoseneinsatz, mit Abstandsbuchsen H an E montiert; Ansatzstück auf Seite von 25 abgefeilt

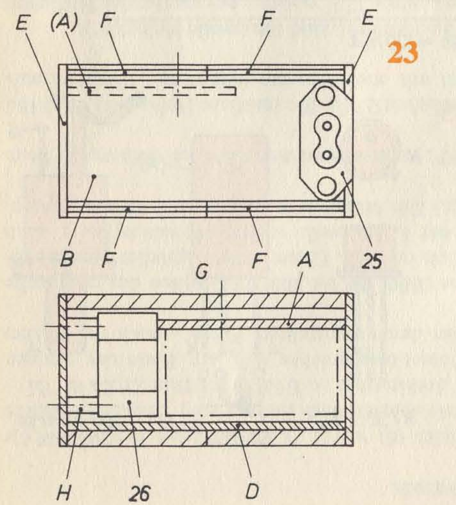


20





21



23

Bild 22
Innenträger der Box (1seitig kupferkaschiertes Hartpapier, 1,5 mm dick). Bezeichnungen A bis D für Montage nach Bild 23

Bild 24
Lichtsteuerung für automatisches Einschalten bei Lichteinfall und Selbsthaltung für die Schaltung nach Bild 8 (ähnlich auch für Schaltung gemäß Bild 16)

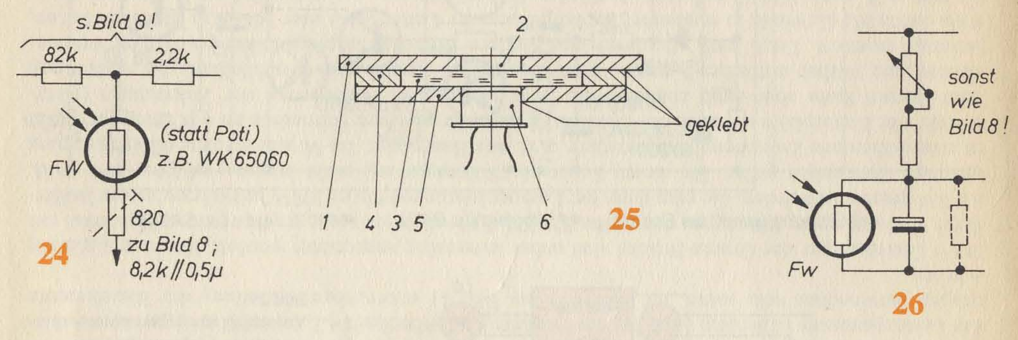
Bild 25
Einbau des Fotowiderstands in Deckplatte der Unterputzdosenvariante (Löschen durch kurzzeitiges Abdecken der Öffnung 2 mit dem Finger); 1 – undurchsichtige Deckplatte (Polystyrol oder PVC), 2 – Öffnung für Lichteintritt, 3 – durchsichtiges Isoliermaterial (z. B. Piacryl), 4 und 5 wie 1, miteinander verklebt, 6 – Fotowiderstand (in 5 eingesteckt bzw. geklebt)

Bild 26
Einsatz des Fotowiderstands in die Schaltung nach Bild 8 für stetig reagierenden Dämmerungsschalter (ähnlich für Schaltung gemäß Bild 16)

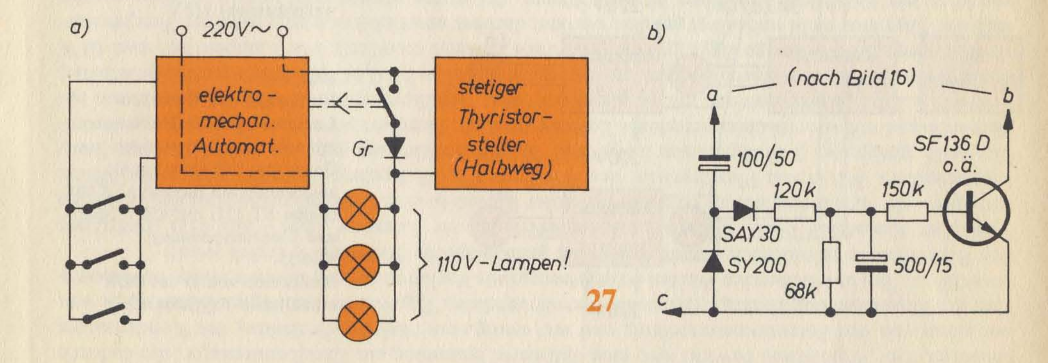
Bild 27
Vorschlag »Sicherheitszusatz« für elektromechanischen Treppenlichtautomaten; Thyristor übernimmt bei schlagartigem Abschalten des Automaten und läßt Helligkeit langsam abklingen; a) Einfügen in vorhandene Anlage (auf 110-V-Lampen am 220-V-Netz umrüsten Gr: Typ je nach Lampen-Gesamtstrom; netzspannungsfest), b) Schaltungszusatz für Schaltung nach Bild 16; mit Schaltung gemäß Bild 16 zusammen in a) einsetzen

A
M3
Lage von 5
links innen
(Cu-Folie)
B
Lage der Leiterplatte nach Bi 20/21
Stützpunkt für La-Bu, Dr(A)C(3+4)
Lage von 25 (einkleben)
C
rechts innen
Folie abgeschält
D
Bodenplatte (Folie innen)

22



24 25 26



27

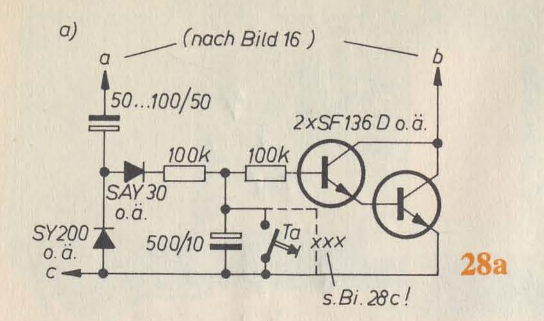
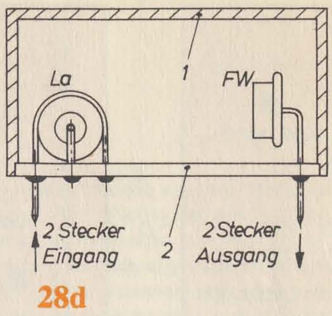
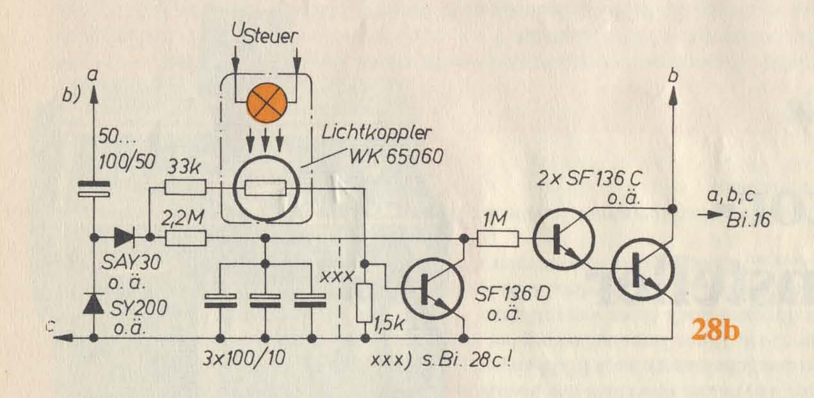
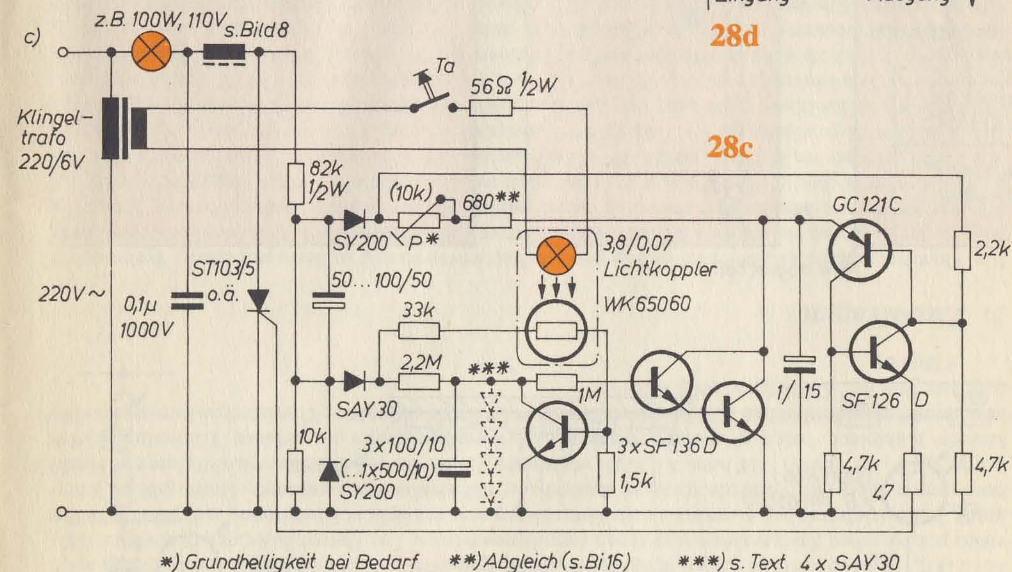
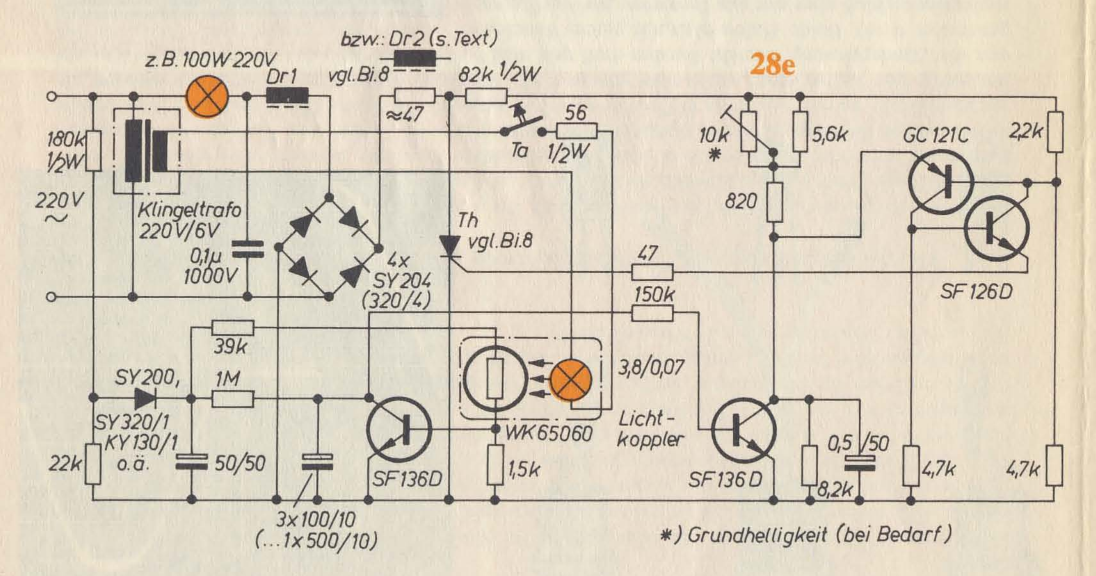


Bild 28
Vollelektronische Treppenlichtautomaten mit Sicherheitsschaltung und beliebigem Neustart; a) Zusatz für Schaltung nach Bild 16 ergibt mit Schaltung gemäß Bild 16 zusammen Automaten mit Eingabe über netzspannungsführende Tasten, b) über schwachstrombetätigten Lichtkoppler geschalteter Zusatz für Schaltung nach Bild 16, c) Gesamtschaltung eines vollelektronischen Treppenlichtautomaten mit Lichtkoppler, Variante Halbwellenbetrieb (110-V-Lampen am 220-V-Netz), d) Vorschlag für den Lichtkoppler (1 Kappe 3 von »Amateurelektronik«, 2 Leiterplatte 25 × 40 groß), e) Gesamtschaltung eines vollelektronischen Treppenlichtautomaten mit Lichtkoppler, Variante Vollwellenbetrieb (220-V-Lampen)









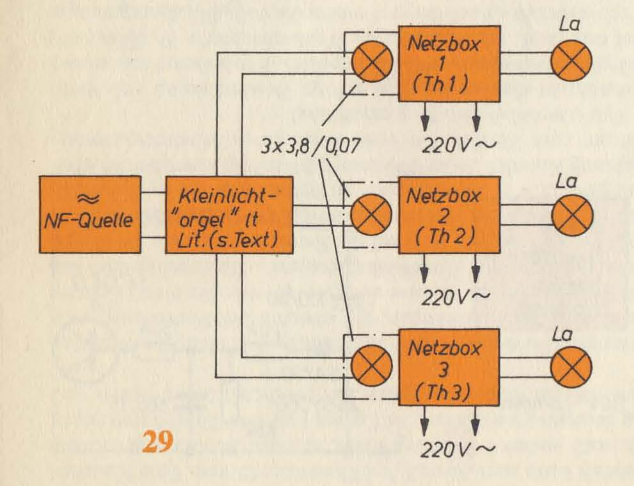
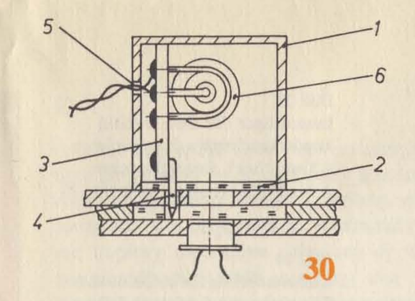


Bild 29
Vorschlag für lichtkopplergesteuerte Lichtorgelanlage. La: Je Box bis zu 3 × 40 W oder 1 × 100 W/220 V bzw. (bei Halbwellenbetrieb)/110 V

Bild 34
Vereinfachter Halbwellen-Lampensteller für Thyristoren mit sehr niedrigem nötigen Gatestrom (bis etwa 5 mA); angewendet auf Basteltyp LT 10 S (Reihe ST 111) mit 450 V Sperr- und Blockierspannung

Bild 35
Bauformen von in der DDR erhältlichen Thyristoren



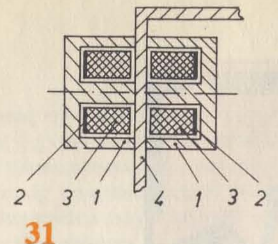


Bild 32
Niederspannungs-Sensor-Wechselschalter für 220-V-Lampe mit SUS 1 und Lichtkoppler nach Schaltung gemäß Bild 28e und Bild 30; 1 – Lichtkoppler (z. B. in Bild 28c bzw. Bild 28e), 2 – Klingeltransformator (in Bild 28c oder Bild 28e)

Bild 30
Aufsetzen eines »Steuerlampenkopfs« auf die nach Bild 25 modifizierte Thyristorbox ähnlich Bild 17; 1 – Kappe 2 von »Amateurelektronik« mit eingeklebter durchsichtiger Polystyrolbodenplatte (2), 3 – Leiterplatte 20 mm × 25 mm mit 2 Winkelsteckern (4) zum Einstecken in 2 Bohrungen (Durchmesser 1,1 mm) in der Deckplatte nach Bild 25, 5 – lichtdicht verklebte Zuleitungsöffnung, 6 – Lampe (z. B. 3,8/0,07)

Bild 31
Vorschlag: Vollisolierter Impulstransformator für Schwachstromsteuerung von Thyristor-Netzkreisen: 1 – Schalen- oder EE-Kern-Hälften, 2 – Spulenkörper, aus 2 2-Kammer-Körpern gewonnen, 3 – Wicklung, 4 – isolierende Schalterboxwand

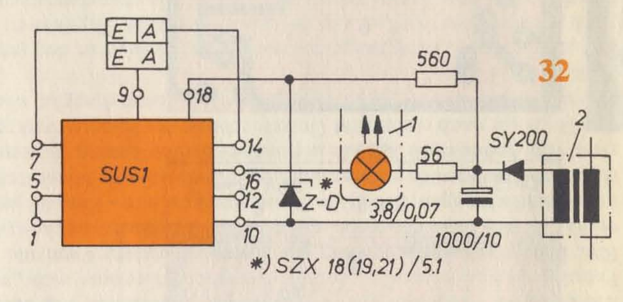
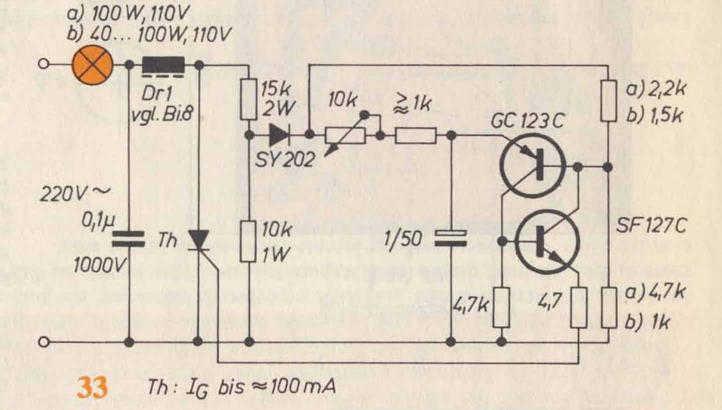


Bild 33
Modifizierter Halbwellen-Lampensteller für Thyristoren mit höherem Gatestrom (bis etwa 100 mA); Eintragungen a) für 100-W-110-V-Lampe am 220-V-Netz, b) für 110-V-Lampen bis herab zu 40 W. Angewendet auf sowjetischen 10-A-Typ



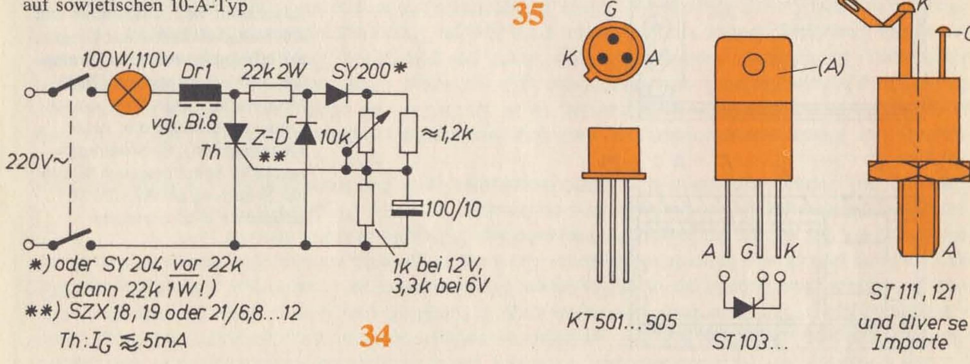


Bild 36.
Anschlußtest

Bild 37
a) Funktionsprüfung (Lampe leuchtet, solange Ta geschlossen wird), b) Messung der Zündmindestdaten (100-Ω-Potentiometer) und des Haltestroms (500-Ω-Potentiometer); beide Potentiometer jeweils von 0 an betätigen. Strommesser je nach Meßaufgabe einfügen

Bild 38
Sperr- und Blockierspannungstest; Hinweise beachten und sorgfältig aufbauen. Anordnung jeweils nur kurzzeitig bei mehr als 220 V Sekundärspannung betreiben

Bild 39
Box für Schaltung gemäß Bild 38 mit Einschaltern, die nur bei geschlossenem Deckel reagieren. Alle spannungführenden Leitungen und die außenliegenden Instrumente gut isolieren!

1. Auflage, 1.–20. Tausend · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1976 · Cheflektorat Militärliteratur · Lizenz-Nr. 5 · LSV 3539 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz · Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Hannelore Lorenz · Vorauskorrektor: Gertraut Purfürst · Korrektor: Ilse Fähndrich · Printed in the German Democratic Republic · Lichtsatz: GG Interdruck Leipzig · Druck und Buchbinderei: Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 15. April 1975 · Bestellnummer: 745 756 9